

08. 7. 2004

日 本 国 特 許 庁  
JAPAN PATENT OFFICE

REC'D 02 SEP 2004

WIPO

PCT

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日  
Date of Application: 2003年12月19日

出 願 番 号  
Application Number: 特願2003-422687  
[ST. 10/C]: [JP2003-422687]

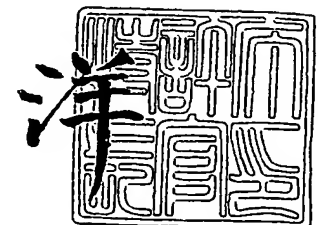
出 願 人  
Applicant(s): ニッタ株式会社

PRIORITY  
DOCUMENT  
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN  
COMPLIANCE WITH RULE 17.1(a) OR (b)

2004年 8月20日

特許庁長官  
Commissioner,  
Japan Patent Office

小 川



【書類名】 特許願  
【整理番号】 31219078  
【提出日】 平成15年12月19日  
【あて先】 特許庁長官 殿  
【国際特許分類】 G01L 1/18  
【発明者】  
    【住所又は居所】 奈良県大和郡山市池沢町 1 7 2 番地 ニッタ株式会社 奈良工場  
                                内  
    【氏名】 森本 英夫  
【特許出願人】  
    【識別番号】 000111085  
    【氏名又は名称】 ニッタ株式会社  
【代理人】  
    【識別番号】 100089196  
    【弁理士】  
    【氏名又は名称】 梶 良之  
【選任した代理人】  
    【識別番号】 100104226  
    【弁理士】  
    【氏名又は名称】 須原 誠  
【先の出願に基づく優先権主張】  
    【出願番号】 特願2003-172045  
    【出願日】 平成15年 6月17日  
【手数料の表示】  
    【予納台帳番号】 014731  
    【納付金額】 21,000円  
【提出物件の目録】  
    【物件名】 特許請求の範囲 1  
    【物件名】 明細書 1  
    【物件名】 図面 1  
    【物件名】 要約書 1  
    【包括委任状番号】 9407223  
    【包括委任状番号】 0000300

**【書類名】 特許請求の範囲****【請求項 1】**

外部から加わった多軸の力、モーメント、加速度、角加速度のいずれか 1 つまたは複数を計測する多軸センサにおいて、

一平面上に配置された複数の歪みゲージを備えていることを特徴とする多軸センサ。

**【請求項 2】**

複数の前記歪みゲージが取り付けられる第 1 のダイヤフラムをさらに備えていることを特徴とする請求項 1 に記載の多軸センサ。

**【請求項 3】**

前記第 1 のダイヤフラムは前記平面の中心点を中心に等角度おき、かつ前記中心点から等距離に配置されていることを特徴とする請求項 2 に記載の多軸センサ。

**【請求項 4】**

前記角度は 90 度であることを特徴とする請求項 3 に記載の多軸センサ。

**【請求項 5】**

前記第 1 のダイヤフラムは、前記中心点を原点とする X 軸および Y 軸上の正方向および負方向にそれぞれ配置されていることを特徴とする請求項 4 に記載の多軸センサ。

**【請求項 6】**

前記角度は 120 度であることを特徴とする請求項 3 に記載の多軸センサ。

**【請求項 7】**

前記第 1 のダイヤフラムの薄肉部は円環形状で 8 個の前記歪みゲージを備えていると共に、

前記歪みゲージの配置位置は、前記第 1 のダイヤフラムの中心点と前記平面の中心点とを結ぶ線上において前記第 1 のダイヤフラムの外縁部と内縁部、および前記第 1 のダイヤフラムの中心点における前記線の垂直線上において前記第 1 のダイヤフラムの外縁部と内縁部であることを特徴とする請求項 2～6 のいずれか 1 項に記載の多軸センサ。

**【請求項 8】**

前記第 1 のダイヤフラムの中央部に設けられた作用体をさらに備えると共に、  
該多軸センサに作用する多軸の加速度および角加速度を計測することを特徴とする請求項 2～7 のいずれか 1 項に記載の多軸センサ。

**【請求項 9】**

前記第 1 のダイヤフラムを有する第 1 部材と、  
前記第 1 のダイヤフラムに対向し且つ、前記歪みゲージを備えない第 2 のダイヤフラムを有する第 2 部材と、  
対向する前記第 1 のダイヤフラムと前記第 2 のダイヤフラムとを連結する連結軸とを備えると共に、

前記第 1 部材と前記第 2 部材との間に作用する多軸の力およびモーメントを計測することを特徴とする請求項 2～7 のいずれか 1 項に記載の多軸センサ。

**【請求項 10】**

前記第 1 のダイヤフラムを有する第 1 部材と、  
前記第 1 のダイヤフラムに対向し且つ、一平面上に配置された複数の前記歪みゲージが取り付けられた第 2 のダイヤフラムを有する第 2 部材と、  
対向する前記第 1 のダイヤフラムと前記第 2 のダイヤフラムとを連結する連結軸とを備えると共に、

前記第 1 部材と前記第 2 部材との間に作用する多軸の力およびモーメントを計測することを特徴とする請求項 2～7 のいずれか 1 項に記載の多軸センサ。

**【請求項 11】**

前記第 1 部材の前記歪みゲージと前記第 2 部材の前記歪みゲージとは、多軸センサの重心点を中心に対称位置に配置されていることを特徴とする請求項 10 に記載の多軸センサ。

**【請求項 12】**

前記第 1 部材の前記歪みゲージと前記第 2 部材の前記歪みゲージとの各出力のうち、いずれか一方の出力信号が所定範囲外であるときは他方の出力信号を採用することを特徴とする請求項 11 に記載の多軸センサ。

【請求項 13】

前記平面に配置される前記第 1 のダイヤフラムは 1 つであることを特徴とする請求項 2 に記載の多軸センサ。

【請求項 14】

前記平面の中心点を中心に等角度おき、かつ前記中心点から等距離の位置において、前記第 1 のダイヤフラムと当接するように設けられた作用体をさらに有しており、

該多軸センサに作用する多軸の加速度および角加速度を測定することを特徴とする請求項 13 に記載の多軸センサ。

【請求項 15】

前記第 1 のダイヤフラムを有する第 1 部材と、

前記歪みゲージを備えない第 2 のダイヤフラムを 1 つ有する第 2 部材と、

前記第 1 のダイヤフラムと前記第 2 のダイヤフラムとを連結する作用体とを有しており、

前記第 1 部材と前記第 2 部材とは、前記第 1 部材の前記第 1 のダイヤフラムの中心点と前記第 2 部材の前記第 2 のダイヤフラムの中心点とが対向するように配置されると共に、前記第 1 のダイヤフラムと前記第 2 のダイヤフラムとのそれぞれの前記中心点を中心に等角度おき、かつ前記中心点から等距離の位置同士が前記作用体によって連結されており、前記第 1 部材と前記第 2 部材との間に作用する多軸の力およびモーメントを測定することを特徴とする請求項 13 に記載の多軸センサ。

【請求項 16】

前記第 1 のダイヤフラムを有する第 1 部材と、

一平面に配置された複数の前記歪みゲージが取り付けられた第 2 のダイヤフラムを有する第 2 部材と、

前記第 1 のダイヤフラムと前記第 2 のダイヤフラムとを連結する作用体とを有しており、

前記第 1 部材と前記第 2 部材とは、前記第 1 部材の前記第 1 のダイヤフラムの中心点と前記第 2 部材の前記第 2 のダイヤフラムの中心点とが対向するように配置されると共に、前記第 1 及び第 2 のダイヤフラムの前記中心点を中心に等角度おき、かつ前記中心点から等距離の位置同士が前記作用体によって連結されており、前記第 1 部材と前記第 2 部材との間に作用する多軸の力およびモーメントを測定することを特徴とする請求項 13 に記載の多軸センサ。

【請求項 17】

前記第 1 部材の前記歪みゲージと前記第 2 部材の前記歪みゲージとは、多軸センサの重心点を中心に対称位置に配置されていることを特徴とする請求項 16 に記載の多軸センサ。

【請求項 18】

前記第 1 部材の前記歪みゲージと前記第 2 部材の前記歪みゲージとの各出力のうち、いずれか一方の出力信号が所定範囲外であるときは他方の出力信号を採用することを特徴とする請求項 17 に記載の多軸センサ。

【請求項 19】

前記角度は 90 度であることを特徴とする請求項 14 ～ 18 のいずれか 1 項に記載の多軸センサ。

【請求項 20】

前記作用体は、前記第 1 のダイヤフラムの中心点を原点とする X 軸および Y 軸上の正方向および負方向にそれぞれ設けられていることを特徴とする請求項 19 に記載の多軸センサ。

【請求項 21】

前記角度は120度であることを特徴とする請求項14～18のいずれか1項に記載の多軸センサ。

【請求項22】

前記歪みゲージの配置位置は、

前記平面上の前記作用体に対応する部分の中心点と前記第1のダイヤフラムの中心点とを結ぶ線上における前記作用体の縁部と、

前記平面上の前記作用体に対応する部分の中心点における前記線の垂直線上において前記作用体の縁部と、

前記第1のダイヤフラムの中心点から等角度おき、かつ前記中心点から等距離の位置であって前記作用体の縁部および前記第1のダイヤフラムの縁部のいずれか一方とであることを特徴とする請求項14～21のいずれか1項に記載の多軸センサ。

【請求項23】

前記歪みゲージはpiezo抵抗素子であることを特徴とする請求項1～22のいずれか1項に記載の多軸センサ。

【請求項24】

前記歪みゲージは絶縁膜上に酸化クロム薄膜で形成した歪みゲージであることを特徴とする請求項1～22のいずれか1項に記載の多軸センサ。

【書類名】明細書

【発明の名称】多軸センサ

【技術分野】

【0001】

本発明は、第1部材と第2部材とに外部から加わった多軸の力、モーメント、加速度、角速度の少なくともいずれか1つを計測することができる多軸センサに関する。

【背景技術】

【0002】

特許文献1には、図49に示すように、一对の対向する円形プレートから成る第1部材100および第2部材101と、これら第1部材100および第2部材101を連結する環状のブリッジ要素102と、各ブリッジ要素102に取り付けられた歪みゲージとを備えたカーモーメントセンサ103が記載されている。

【0003】

このセンサ103ではブリッジ要素102が第1部材100および第2部材101に対して垂直に設けられる。歪みゲージはブリッジ要素102の外周面あるいは孔104の内面に接着により取り付けられる。そして、第1部材100および第2部材101の間に加わった力やモーメントにより各ブリッジ要素102の円環形状がどの方向にどれだけ歪むかを検出することにより加わった力やモーメントを算出するようにしている。

【0004】

【特許文献1】特開昭63-78032号公報（図1、第5頁右下欄第12行～第6頁左上欄第14行、第7頁左上欄第20行～右上欄第12行）

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

特許文献1に記載の技術では、歪みゲージの取り付けられるセンサ起歪体であるブリッジ要素102が複雑な3次元形状をしているので、第1部材100および第2部材101とブリッジ要素102とを組み立てたり加工するコストが高くなってしまう。また、歪みゲージをブリッジ要素102の曲面などに3次元的に取り付けなければならないので、取り付け作業の時間が長くなり量産性が悪くコスト高を招いてしまう。

【0006】

そこで、本発明の目的は、センサ起歪体を簡易な形状にできると共に歪みゲージの取り付け作業を簡単にできる多軸センサを提供することである。

【課題を解決するための手段及び効果】

【0007】

本発明の多軸センサは、外部から加わった多軸の力、モーメント、加速度、角加速度のいずれか1つまたは複数を計測する多軸センサにおいて、一平面上に配置された複数の歪みゲージを備えている。

【0008】

この構成によると、各歪みゲージは一平面上に配置されているので、従来のように歪みゲージをブリッジ要素の曲面などに3次元的に取り付ける場合に比べて取り付け作業の時間を短縮することができる。したがって、量産性を良くしてコストを下げることができるようになる。

【0009】

本発明の多軸センサでは、複数の前記歪みゲージが取り付けられる第1のダイヤフラムをさらに備えていることが好ましい。この構成によると、歪みゲージの取り付けられるセンサ起歪体が簡易な形状になるので、多軸センサを組み立てるコストを下げる事が出来る。

【0010】

本発明の多軸センサでは、前記第1のダイヤフラムは前記平面の中心点を中心に等角度おき、かつ前記中心点から等距離に配置されていることが好ましい。この構成によると、

各第1のダイヤフラムの歪みゲージの抵抗値の変化から比較的簡易な計算により多軸の力、モーメント、加速度、角加速度を算出することができる。

【0011】

本発明の多軸センサでは、前記角度は90度であることが好ましい。この構成によると、平面の中心点を原点とする直交座標のX軸およびY軸での力、モーメント、加速度、角加速度を容易に算出することができる。

【0012】

本発明の多軸センサでは、前記第1のダイヤフラムは、前記中心点を原点とするX軸およびY軸上の正方向および負方向にそれぞれ配置されていることが好ましい。この構成によると、X軸およびY軸での力、モーメント、加速度、角加速度を極めて容易に算出することができる。

【0013】

本発明の多軸センサでは、前記角度は120度であることが好ましい。この構成によると、3個の第1のダイヤフラムで多軸の力、モーメント、加速度、角加速度を算出することができるので、多軸センサの構成を更に簡易化することができる。

【0014】

本発明の多軸センサでは、前記第1のダイヤフラムの薄肉部は円環形状で8個の前記歪みゲージを備えていると共に、前記歪みゲージの配置位置は、前記第1のダイヤフラムの中心点と前記平面の中心点とを結ぶ線上において前記第1のダイヤフラムの外縁部と内縁部、および前記第1のダイヤフラムの中心点における前記線の垂直線上において前記第1のダイヤフラムの外縁部と内縁部であることが好ましい。

【0015】

この構成によると、第1のダイヤフラムの中で最も歪みが大きい部位に歪みゲージを取り付けることができるので、感度を高めることができる。

【0016】

本発明の多軸センサは、前記第1のダイヤフラムの中央部に設けられた作用体をさらに備えると共に、該多軸センサに作用する多軸の加速度および角加速度を計測することが好ましい。

【0017】

この構成によると、多軸センサに加速度を加えると、作用体に対して慣性力が働く。したがって、作用体の変位し、第1のダイヤフラムに歪みが生じる。この第1のダイヤフラムの歪みを検知することによって、多軸の加速度および角加速度を計測することができる。

【0018】

本発明の多軸センサは、前記第1のダイヤフラムを有する第1部材と、前記第1のダイヤフラムに対向し且つ、前記歪みゲージを備えない第2のダイヤフラムを有する第2部材と、対向する前記第1のダイヤフラムと前記第2のダイヤフラムとを連結する連結軸とを備えると共に、前記第1部材と前記第2部材との間に作用する多軸の力およびモーメントを計測することが好ましい。

【0019】

この構成によると、一平面のみに歪みゲージを取り付けるだけで多軸の力およびモーメントを計測することができる。

【0020】

本発明の多軸センサは、前記第1のダイヤフラムを有する第1部材と、前記第1のダイヤフラムに対向し且つ、一平面上に配置された複数の前記歪みゲージが取り付けられた第2のダイヤフラムを有する第2部材と、対向する前記第1のダイヤフラムと前記第2のダイヤフラムとを連結する連結軸とを備えると共に、前記第1部材と前記第2部材との間に作用する多軸の力およびモーメントを計測することが好ましい。

【0021】

この構成によると、同じ力あるいはモーメントの成分を示す電気信号が独立して2系統

存在するので、センサ出力を二重化して高精度化を図ることができる。

【0022】

本発明の多軸センサでは、前記第1部材の前記歪みゲージと前記第2部材の前記歪みゲージとは、多軸センサの重心点を中心に対称位置に配置されていることが好ましい。この構成によると、2系統の電気信号を対等に扱うことができるので、精度が更に高くなる。

【0023】

本発明の多軸センサでは、前記第1部材の前記歪みゲージと前記第2部材の前記歪みゲージとの各出力のうち、いずれか一方の出力信号が所定範囲外であるときは他方の出力信号を採用することが好ましい。

【0024】

この構成によると、何らかの理由で歪みゲージが異常を起こしたときに他方の歪みゲージを利用して、多軸センサの利用を続行することができる。よって、極めて信頼性の高い制御システムを構築することができる。

【0025】

本発明の多軸センサでは、前記平面に配置される前記第1のダイヤフラムは1つであることが好ましい。この構成によると、一平面上に第1のダイヤフラムを複数設けなくてもよいので、多軸センサを小型化することが可能となる。また、多軸センサの形状が簡素化するので、切削加工に要するコストを低減することができる。

【0026】

本発明の多軸センサでは、前記平面の中心点を中心に等角度おき、かつ前記中心点から等距離の位置において、前記第1のダイヤフラムと当接するように設けられた作用体をさらに有しており、該多軸センサに作用する多軸の加速度および角加速度を測定することが好ましい。

【0027】

この構成によると、多軸センサに加速度を加えると、作用体に対して慣性力が働く。したがって、作用体の変位し、第1のダイヤフラムに歪みが生じる。この第1のダイヤフラムの歪みを検知することによって、多軸の加速度および角加速度を計測することができる。

【0028】

本発明の多軸センサでは、前記第1のダイヤフラムを有する第1部材と、前記歪みゲージを備えない第2のダイヤフラムを1つ有する第2部材と、前記第1のダイヤフラムと前記第2のダイヤフラムとを連結する作用体とを有しており、前記第1部材と前記第2部材とは、前記第1部材の前記第1のダイヤフラムの中心点と前記第2部材の前記第2のダイヤフラムの中心点とが対向するように配置されると共に、前記第1のダイヤフラムと前記第2のダイヤフラムとのそれぞれの前記中心点を中心に等角度おき、かつ前記中心点から等距離の位置同士が前記作用体によって連結されており、前記第1部材と前記第2部材との間に作用する多軸の力およびモーメントを測定することが好ましい。

【0029】

この構成によると、一平面のみに歪みゲージを取り付けるだけで多軸の力およびモーメントを計測することができる。

【0030】

本発明の多軸センサでは、前記第1のダイヤフラムを有する第1部材と、一平面に配置された複数の前記歪みゲージが取り付けられた第2のダイヤフラムを有する第2部材と、前記第1のダイヤフラムと前記第2のダイヤフラムとを連結する作用体とを有しており、前記第1部材と前記第2部材とは、前記第1部材の前記第1のダイヤフラムの中心点と前記第2部材の前記第2のダイヤフラムの中心点とが対向するように配置されると共に、前記第1及び第2のダイヤフラムの前記中心点を中心に等角度おき、かつ前記中心点から等距離の位置同士が前記作用体によって連結されており、前記第1部材と前記第2部材との間に作用する多軸の力およびモーメントを測定することが好ましい。

【0031】

この構成によると、同じ力あるいはモーメントの成分を示す電気信号が独立して2系統存在するので、センサ出力を二重化して高精度化を図ることができる。

**【0032】**

本発明の多軸センサでは、前記第1部材の前記歪みゲージと前記第2部材の前記歪みゲージとは、多軸センサの重心点を中心に対称位置に配置されていることが好ましい。この構成によると、2系統の電気信号を対等に扱うことができるので、精度が更に高くなる。

**【0033】**

本発明の多軸センサでは、前記第1部材の前記歪みゲージと前記第2部材の前記歪みゲージとの各出力のうち、いずれか一方の出力信号が所定範囲外であるときは他方の出力信号を採用することが好ましい。

**【0034】**

この構成によると、何らかの理由で歪みゲージが異常を起こしたときに他方の歪みゲージを利用して、多軸センサの利用を続行することができる。よって、極めて信頼性の高い制御システムを構築することができる。

**【0035】**

本発明の多軸センサでは、前記角度は90度であることが好ましい。この構成によると、第1のダイヤフラムの中心点を原点とする直交座標のX軸およびY軸での力、モーメント、加速度、角加速度を容易に算出することができる。

**【0036】**

本発明の多軸センサでは、前記作用体は、前記第1のダイヤフラムの中心点を原点とするX軸およびY軸上の正方向および負方向にそれぞれ形成されていることが好ましい。この構成によると、第1のダイヤフラムの中心点を原点とする直交座標のX軸およびY軸での力、モーメント、加速度、角加速度を極めて容易に算出することができる。

**【0037】**

本発明の多軸センサでは、前記角度は120度であることが好ましい。この構成によると、第1のダイヤフラムに3つの作用体を形成することで、多軸の力、モーメント、加速度、角加速度を算出することができるので、多軸センサの構成を更に簡易化することができる。

**【0038】**

本発明に多軸センサでは、前記歪みゲージの配置位置は、前記平面上の前記作用体に対応する部分の中心点と前記第1のダイヤフラムの中心点とを結ぶ線上における前記作用体の縁、前記平面上の前記作用体に対応する部分の中心点における前記線の垂直線上において前記作用体の縁、および前記第1のダイヤフラムの中心点から等角度おき、かつ前記中心点から等距離の位置における前記作用体の縁または前記第1のダイヤフラムの縁であることが好ましい。

**【0039】**

この構成によると、第1のダイヤフラムの中で最も歪みが大きい部位に歪みゲージを取り付けることができるので、感度を高めることができる。また、一平面に複数の第1のダイヤフラムを設ける場合に比べて少ない歪みゲージで、多軸の力、モーメント、加速度、角加速度を算出することができる。したがって、歪みゲージのコストおよび配線のコストを削減することができる。

**【0040】**

本発明に多軸センサでは、前記歪みゲージはピエゾ抵抗素子であることが好ましい。この構成によると、ピエゾ抵抗素子は箔歪みゲージに比べてゲージ率が10倍以上大きいので、箔歪みゲージを利用する場合に比べて感度を10倍以上大きくすることができる。

**【0041】**

本発明の多軸センサでは、前記歪みゲージは絶縁膜上に酸化クロム薄膜で形成した歪みゲージであることが好ましい。この構成によると、一般的な箔歪みゲージに比べてゲージ率が10倍以上大きいので、一般的な箔歪みゲージを利用する場合に比べて感度を10倍以上大きくすることができる。

## 【発明を実施するための最良の形態】

## 【0042】

以下、本発明の好適な実施の形態について、図面を参照しつつ説明する。

## 【0043】

図1(A)は、本発明の第1の実施の形態による多軸センサ1を第2部材3側からZ軸方向に透視したときの歪みゲージの配置を描いた平面図であり、図1(B)は多軸センサ1の中央縦断面正面図である。図1において、多軸センサ1は、第1部材2と第2部材3とに外部から加わった多軸の力、モーメント、加速度、角加速度のいずれかを計測するものである。この多軸センサ1は、一平面上に配置された複数の歪みゲージR11~R48を備えている。第1部材2および第2部材3は円盤形状のフランジから成る。歪みゲージR11~R48は第1部材2の表側面2aのみに取り付けられている。

## 【0044】

ここでは説明の便宜上XYZ三次元座標系を定義し、この座標系を参照しながら各部品に配置説明を行うことにする。図1(B)においては、第1部材2の表側面2aの中心位置が原点O、右水平方向がX軸、紙面に垂直手前方向がY軸、下垂直方向がZ軸とそれぞれ定義される。つまり、第1部材2の表側面2aはXY平面を規定し、第1部材2の中心位置にZ軸が通ることになる。

## 【0045】

第1部材2および第2部材3は、それぞれ対向する4つのダイヤフラム4, 5, 6, 7を備えている。各ダイヤフラム4~7は薄肉状にされている。各ダイヤフラム4~7の中央部には中心軸8が設けられている。互いに向き合うダイヤフラム4~7の中心軸8同士がボルト9により連結されている。これにより、第1部材2と第2部材3とが一体化されている。また、各ダイヤフラム4~7は中心軸8を備えていることにより薄肉部が円環形状となっている。

## 【0046】

第1部材2のダイヤフラム4~7は、原点Oを中心に等角度おき、かつ原点Oから等距離に配置されている。ここでは、90度おきに配置されている。さらに、第1部材2のダイヤフラム4~7は、X軸およびY軸上の正方向および負方向にそれぞれ配置されている。また、第2部材3のダイヤフラム4~7は、第1部材のダイヤフラム4~7と対向するように配置されている。よって、この多軸センサ1は3次元空間の直交する3軸の力とその軸回りのモーメントを測定するための6軸力覚センサとして機能する。図2に、X軸、Y軸、Z軸の方向と、各軸に対するモーメント $M_x$ 、 $M_y$ 、 $M_z$ の方向を示す。

## 【0047】

第1部材2の各ダイヤフラム4~7は8個の歪みゲージを備えている。歪みゲージR11~R48の配置位置は、図1(A)に示すように第1部材2のX軸とY軸の各々においてダイヤフラム4~7の薄肉部分の外縁部と内縁部である。すなわち、歪みゲージR11~R48は多軸センサ1において最も大きな歪みが発生する場所に貼り付けられている。なお、歪みゲージのリード線の図示は省略している。

## 【0048】

歪みゲージR11~R48としては、金属箔歪みゲージや金属線歪みゲージを用いている。歪みゲージR11~R48は一種の抵抗体であり、歪みの発生する場所に貼り付けて使用する検出素子である。歪みの発生により抵抗値が変化することにより、歪み $\epsilon$ を測定することができる。一般には、引張りによる歪み $\epsilon$ に対しては抵抗値が大きくなり、圧縮による歪み $\epsilon$ に対しては抵抗値が小さくなる比例特性を持っている。また、通常は材料が歪み $\epsilon$ に対して応力 $\sigma$ が比例する弾性域で使用する。本実施形態でも第1部材2の弾性域で使用するものとしている。

## 【0049】

各ダイヤフラム4~7は大きさや厚さを同じにしている。このため、剛性が等しくなる。これにより、例えば図3に示すように、第1部材2と第2部材3と中心軸8とが全体として平行四辺形の四辺を構成するように変位するときに、各ダイヤフラム4~7に力の方

向や大きさに応じた歪みが歪みゲージ R 1 1 ~ R 4 8 に発生するようになるので、力やモーメントを高精度に検出することができる。なお、歪みゲージの取り付け作業を簡易にしたり歪みゲージの保護を図るために、取り付け位置に段差を設けてもよい。また、ダイヤフラム 4 ~ 7 以外の部分には他の部材への取り付け用のタップ穴を形成してもよい。また、第 1 部材 2 と第 2 部材 3 とは、中心軸 8 同しがボルト 9 により連結されているが、ボルト 9 を使用せず、直接一体切削加工して形成してもよいし、溶接により中心軸 8 同しを接合してもよい。

#### 【0050】

次に、各軸方向ごとに力とモーメントを検出する原理を説明する。以下、第 1 部材 2 を固定し、第 2 部材 3 に力やモーメントが作用するものとする。

#### 【0051】

図 3 に、X 軸方向の力  $F_x$  を加えたときの状態を示す。このときは、第 1 部材 2 および第 2 部材 3 の全てのダイヤフラム 4 ~ 7 が図示したように変位し、歪みが検出される。図 4 に歪みゲージ R 1 1 ~ R 4 8 の変化を示す。図中、(+) は抵抗値の増加を、(-) は抵抗値の減少を示す。どちらの記号も無い歪みゲージは抵抗値の変化が殆ど無い。

#### 【0052】

次に、Y 軸方向の力  $F_y$  を加えたときは、X 軸方向の力  $F_x$  を加えたときの状態を 90 度ずらして考えればよいので、ここでは省略する。

#### 【0053】

図 5 に Z 軸方向の力  $F_z$  を加えたときの多軸センサ 1 の状態を示す。図 6 に、このときの各歪みゲージの変化を示す。

#### 【0054】

図 7 に X 軸のモーメント  $M_x$  を加えたときの多軸センサ 1 の状態を示す。図 8 に、このときの各歪みゲージの変化を示す。

#### 【0055】

次に、Y 軸のモーメント  $M_y$  を加えたときは、X 軸のモーメント  $M_x$  を加えたときの状態を 90 度ずらして考えればよいので、ここでは省略する。

#### 【0056】

Z 軸のモーメント  $M_z$  を加えたときは、第 2 部材 3 を Z 軸を中心に回転させる。図 9 に、このときの各歪みゲージの変化を示す。

#### 【0057】

表 1 に上述した各力およびモーメントに対する歪みゲージ R 1 1 ~ R 4 8 の変化を示す。表中、+ は抵抗値の増加、- は抵抗値の減少を示し、符号無しは抵抗値が殆ど変化しないことを示す。また、反対方向の力やモーメントの場合は符号が逆になる。

#### 【0058】

【表 1】

	R28		+	-	+				R48		+	-	-		
	R27		-	+	-				R47		-	+	+		
	R26		+	+	-				R46		+	+	+		
	R25		-	-	+				R45		-	-	-		
	R24	+		-	+		+		R44	+		-	-		-
	R23	-		+	-		-		R43	-		+	+		+
	R22	+		+	-		+		R42	+		+	+		-
	R21	-		-	+		-		R41	-		-	-		+
	R18		+	-		+	+		R38		+	-		-	-
	R17		-	+		-	-		R37		-	+		+	+
	R16		+	+		-	+		R36		+	+		+	-
	R15		-	-		+	-		R35		-	-		-	+
	R14	+		-		+			R34	+		-		-	
	R13	-		+		-			R33	-		+		+	
	R12	+		+		-			R32	+		+		+	
	R11	-		-		+			R31	-		-		-	
力	Fx	Fy	Fz	Mx	My	Mz			力	Fx	Fy	Fz	Mx	My	Mz

【0059】

以上の性質を利用して、数式1の演算を行うことにより各力およびモーメントを検出することができる。

【0060】

【数1】

$$F_x = (R_{22} + R_{42}) - (R_{23} + R_{43})$$

$$F_y = (R_{16} + R_{36}) - (R_{17} + R_{37})$$

$$F_z = (R_{13} + R_{26} + R_{32} + R_{47}) - (R_{11} + R_{28} + R_{34} + R_{45})$$

$$M_x = (R_{25} + R_{46}) - (R_{27} + R_{48})$$

$$M_y = (R_{14} + R_{33}) - (R_{12} + R_{31})$$

$$M_z = (R_{18} + R_{24} + R_{35} + R_{41}) - (R_{15} + R_{21} + R_{38} + R_{44})$$

【0061】

この演算では各歪みゲージ R11～R48 が 1 回ずつ使用されるので無駄が無く、また電圧に変換して OP アンプで演算する場合に都合がよい。また、構造上剛性が強くなって感度が低くなる Fz および Mz については他のときの 2 倍の 8 個の歪みゲージが割り付けられるので、感度を高めることができる。なお、演算方法は数式 1 に限られないのは勿論である。

#### 【0062】

また、数式 1 の演算は各抵抗値を既知あるいは新規の手段を用いて電圧に変換し、OP アンプで演算しても良く、あるいは AD 変換器を用いてマイクロコントローラやコンピュータを用いて演算してもよい。

#### 【0063】

あるいは、図 10 に示すようにブリッジ回路を構成して定電圧または定電流を印加しても力およびモーメントを検出することができる。さらに、ハーフブリッジを構成して歪みゲージの数を減らしても検出することができる（図示せず）。なお、歪みゲージの組み合わせは図 10 に示したものに限られないのは勿論である。

#### 【0064】

なお、本実施形態では第 1 部材 2 の各ダイヤフラム 4～7 を X 軸あるいは Y 軸上に配置しているが、これには限られない。すなわち、同じ構造の多軸センサ 1 の設置方向を変更して、第 1 部材 2 の各ダイヤフラム 4～7 が軸上に位置しないようにしてもよい。この場合、6 軸センサとしては機能せず、5 軸センサとなる。また、本実施形態では 6 軸センサとして使用しているが、これには限られず例えば X 軸と Y 軸の 2 方向の力だけを検出する 2 軸センサとして使用してもよい。

#### 【0065】

次に、本発明の第 2 の実施の形態について、図 11 を参照して説明する。図 11 に示すように、第 2 の実施の形態は、歪みゲージとしてピエゾ抵抗素子 10 を用いている。そして、半導体製造プロセスを利用して、1 つのダイヤフラムに必要なピエゾ抵抗素子 10 を 1 枚の半導体 Si ウェハ 11 に集積してダイヤフラムにダイボンディングして固定している。ピエゾ抵抗素子 10 は箔歪みゲージに比べてゲージ率が 10 倍以上大きく、箔歪みゲージを利用する場合に比べて感度を 10 倍以上大きくすることができる。

#### 【0066】

次に、本発明の第 3 の実施の形態について、図 12 を参照して説明する。第 3 の実施の形態は、多軸センサ 1 の構造としては第 1 の実施形態と同様であるが、ブリッジの構成を変形している。図 12 に示すように、各ブリッジは、各ダイヤフラム 4～7 上に直線的に配置された 4 個の歪みゲージから構成されている。これにより、各ダイヤフラム 4～7 の歪みの発生状況が 8 個の電圧として直接出力されるようになる。

#### 【0067】

この場合、数式 2 により演算を行って力とモーメントを算出することができる。

#### 【0068】

##### 【数 2】

$$F_x = V_4 - V_2$$

$$F_y = V_3 - V_1$$

$$F_z = V_5 + V_6 + V_7 + V_8$$

$$M_x = V_8 - V_6$$

$$M_y = V_7 - V_5$$

$$M_z = V_1 + V_2 + V_3 + V_4$$

#### 【0069】

数式 2 の演算は各抵抗値を既知あるいは新規の手段を用いて電圧に変換し、OP アンプで演算しても良く、あるいは AD 変換器を用いてマイクロコントローラやコンピュータを用いて演算してもよい。

## 【0070】

次に、本発明の第4の実施の形態について、図13及び図14を参照して説明する。第4の実施の形態は、第1の実施の形態と同様に第1部材2に歪みゲージR11～R48が取り付けられると共に、図13に示すように重心点O'と点对称の位置に歪みゲージR111～R148が第2部材3に取り付けられている。このような機械的な対称性により、多軸センサ1に力やモーメントが加わると各ダイヤフラム4～7には力の種類に応じた対称的な歪みが発生する。すなわち、本発明の多軸センサ1が歪みゲージを一平面に配置していることから、2組の歪みゲージR11～R48、R111～R148を対称な位置に配置できるという特徴を利用したものである。

## 【0071】

歪みゲージR11～R48は図10と同様の回路を構成し、力 $F_x$ 、 $F_y$ 、 $F_z$ およびモーメント $M_x$ 、 $M_y$ 、 $M_z$ に対応した電圧 $V_{fx1}$ 、 $V_{fy1}$ 、 $V_{fz1}$ 、 $V_{mx1}$ 、 $V_{my1}$ 、 $V_{mz1}$ を出力するようにする。歪みゲージR111～R148についても図10と同様の回路を構成し、力 $F_x$ 、 $F_y$ 、 $F_z$ およびモーメント $M_x$ 、 $M_y$ 、 $M_z$ に対応した電圧 $V_{fx2}$ 、 $V_{fy2}$ 、 $V_{fz2}$ 、 $V_{mx2}$ 、 $V_{my2}$ 、 $V_{mz2}$ を出力するようにする。ただし、ある力やモーメントを加えた場合に、電圧 $V_{fx1}$ 、 $V_{fy1}$ 、 $V_{fz1}$ 、 $V_{mx1}$ 、 $V_{my1}$ 、 $V_{mz1}$ の信号の増減と、電圧 $V_{fx2}$ 、 $V_{fy2}$ 、 $V_{fz2}$ 、 $V_{mx2}$ 、 $V_{my2}$ 、 $V_{mz2}$ の信号の増減とが一致するように回路上の設定をしておくものとする。

## 【0072】

以上のように本実施形態では同じ力あるいはモーメントの成分を示す電気信号が独立して2系統存在し、センサ出力の二重化が図られている。

## 【0073】

図14は、各力またはモーメントを検出するブリッジの信号である $V_{fx1}$ 、 $V_{fy1}$ 、 $V_{fz1}$ 、 $V_{mx1}$ 、 $V_{my1}$ 、 $V_{mz1}$ 、 $V_{fx2}$ 、 $V_{fy2}$ 、 $V_{fz2}$ 、 $V_{mx2}$ 、 $V_{my2}$ 、 $V_{mz2}$ を増幅するためのアンプ回路12の一例である。ここでは、定格負荷の範囲では電源電圧の25～75%範囲の電圧値になるように調整してある。さらに、このアンプ出力はマイクロコントローラ13のAD変換ポート14に入力してある。

## 【0074】

一般に歪みゲージで構成したブリッジ回路の出力の変化は数mVと微小なためアンプなどで数百倍以上に増幅しなければならない。高感度なピエゾ抵抗素子10を用いても出力感度は金属箔歪みゲージの10倍程度である。このため、もしブリッジ回路を構成する歪みゲージが何らかの原因のために断線するようなことがあるとアンプ出力のバランスが崩れて電源電圧の下限または上限付近まで偏ってしまう。

## 【0075】

そこで、センサの出力信号が二重化されていることを利用して、図14に示すように以下の処理を行うようにする。

## 【0076】

アンプの電源電圧の低い方を $V_{ee}$ 、高い方を $V_{cc}$ とする。多軸センサ1が通常の使用の範囲で出力しないと考えられる電圧の小さい方を $V_L$ とし、大きい方を $V_H$ とする。ただし、 $V_{ee} < V_L$ 、 $V_H < V_{cc}$ で、 $V_L$ および $V_H$ はAD変換した値とする。なお、 $V_L$ と $V_H$ は多軸センサ1の特性に合わせて出力ごとに決めるようにしてもよい。

## 【0077】

そして、X軸方向の力 $F_x$ の場合、マイクロコントローラで $V_L \leq V_{fx1} \leq V_H$ 、 $V_L \leq V_{fx2} \leq V_H$ か判定する(S1、S2)。両方とも範囲内であれば(S1; Yes、S2; Yes)、 $V_{fx1}$ の信号を優先して制御信号として採用する(S3)。

## 【0078】

もし $V_{fx1}$ が範囲外であれば(S1; No)、出力異常と判断して $V_{fx2}$ を確認する(S4)。 $V_{fx2}$ が範囲内であれば(S2; Yes)、 $V_{fx1}$ の代わりに $V_{fx2}$ を力 $F_x$ の信号として処理する。 $V_{fx2}$ も範囲外であれば(S2; No)、両方の出力

が異常と判断して非常停止などの異常処理をする(S5)。

【0079】

F<sub>x</sub>以外の力やモーメントについても同様の処理を行う。

【0080】

本実施形態によれば、出力信号を二重化することにより、一方の出力が歪みゲージの断線などによって出力異常を起こしても他方の出力を利用して多軸センサ1の利用を続行することができる。よって、極めて信頼性の高い制御システムを構築することができる。

【0081】

次に、本発明の第5の実施の形態について、図15を参照して説明する。図15は、第5の実施の形態による多軸センサ1を第2部材3側からZ軸方向に透視したときの歪みゲージR11～R38の配置を描いた平面図である。第5の実施の形態では、第1部材2および第2部材3はそれぞれ対向する3つのダイヤフラム4～6を備えている。この多軸センサ1は3次元空間の直交する3軸の力とその軸回りのモーメントを測定するための6軸力覚センサである。

【0082】

第1部材2のダイヤフラム4～6は、原点Oを中心に等角度おき、かつ原点Oから等距離に配置されている。ここでは、120度おきに配置されている。また、第2部材3のダイヤフラム4～6は、第1部材のダイヤフラム4～6と対向するように配置されている。第1部材2の各ダイヤフラム4～6は、8個の歪みゲージを備えている。第1部材2の表側面2aでの歪みゲージR11～R38の配置位置は、ダイヤフラム4～6の中心点と原点Oとを結ぶ直線上においてダイヤフラム4～6の外縁部と内縁部、およびダイヤフラム4～6の中心点における上記直線の垂直線上においてダイヤフラム4～6の外縁部と内縁部としている。

【0083】

具体的には、歪みゲージR11～R14は原点Oを通りY軸負方向からX軸正方向に120度をなす線分OC上に配置されている。歪みゲージR31～R34は原点Oを通りY軸負方向からX軸負方向に120度をなす線分OD上に配置されている。また、歪みゲージR15～R18は線分OCと直交する方向に配置されている。歪みゲージR35～R38は線分ODと直交する方向に配置されている。歪みゲージR21～R28は第1の実施形態と同様である。

【0084】

また、歪みゲージとしては第1の実施形態と同様に金属箔歪みゲージとしたり、あるいは第2の実施形態と同様にピエゾ抵抗素子10とすることができる。その他の構成は第1の実施形態と同様であるので説明を省略する。

【0085】

本実施形態により各軸方向ごとに力とモーメントを検出する原理を説明する。以下、第1部材2を固定し、第2部材3に力やモーメントが作用するものとする。直線状に配置された4個の歪みゲージから成る歪みゲージ群は、配置された列方向に引っ張りや圧縮の歪みを加えた場合、最も歪みに対する抵抗値の変化の率が大きくなり感度が高くなる。図15に示すように6個の歪みゲージ群があるが、それぞれ最も感度が大きくなる方向が異なる。しかし、各歪みゲージ群の感度をX、Y、Z軸方向のベクトルに分解して考えれば6軸成分の力やモーメントを検出することができる。

【0086】

図15に示す歪みゲージR11～R38に対して図16に示すブリッジ回路を構成し定電圧または定電流を加える。これにより、歪みゲージR15～R18でX軸正方向からY軸負方向に60度方向の力の成分を電圧V1として検出でき、歪みゲージR25～R28でX軸正方向からY軸負方向に90度方向の力の成分を電圧V2として検出でき、歪みゲージR35～R38でX軸正方向からY軸負方向に300度方向の力の成分を電圧V3として検出できる。また、R11～R14、R25～R28、R31～R34では、各ダイヤフラム4～6の中心のZ軸方向の力をそれぞれV4、V5、V6として検出できる。

【0087】

ここで、各ブリッジ回路の図16中の節点電圧を $e_1 \sim e_{12}$ とすると、数式3が導かれる。

【0088】

【数3】

$$V_1 = e_1 - e_2$$

$$V_2 = e_3 - e_4$$

$$V_3 = e_5 - e_6$$

$$V_4 = e_7 - e_8$$

$$V_5 = e_9 - e_{10}$$

$$V_2 = e_{11} - e_{12}$$

【0089】

このうち $V_1$ 、 $V_2$ 、 $V_3$ については、X軸とY軸成分のベクトルに分解して数式4のように表すことができる。

【0090】

【数4】

$$V_1 = (V_{1X}, V_{1Y}) = (V_1/2, V_1 \cdot \sqrt{3}/2)$$

$$V_2 = (V_{2X}, V_{2Y}) = (V_2, 0)$$

$$V_3 = (V_{3X}, V_{3Y}) = (V_3/2, V_3 \cdot \sqrt{3}/2)$$

【0091】

したがって、第2部材3に作用するX軸方向の合力を $F_x$ 、Y軸方向の合力を $F_y$ とすると数式5のように検出することができる。

【0092】

【数5】

$$F_x = (V_1/2) + V_2 + (V_3/2)$$

$$F_y = (V_1 \cdot \sqrt{3}/2) + (V_3 \cdot \sqrt{3}/2)$$

【0093】

図17にY軸負方向に力 $F_y$ を加えたときのダイヤフラム5の変位の状態を示す。このとき、歪みゲージR25とR27は引っ張り方向の歪みが発生して抵抗値が大きくなり、歪みゲージR26とR28は圧縮方向の歪みが発生して抵抗値が小さくなる。力 $F_y$ と直交する方向に配置された歪みゲージR21～R24には殆ど歪みが発生しない。

【0094】

他の2つのダイヤフラム4、6にもY軸方向に同様の変位や歪みが発生している。しかし、歪みゲージR11～R18、R31～R38の配置方向はX軸やY軸の方向と異なっているので、各歪みゲージの抵抗値の変化は歪みゲージR21～R28とは異なる。歪みゲージは配置された列方向に感度が最大になるように貼り付けられているので、歪みゲージR11～R18、R31～R38は力 $F_y$ の方向であるY軸と各歪みゲージ群がなす角度により感度が決定される。

【0095】

X軸方向の力 $F_x$ についても同様である。よって、X軸およびY軸方向の力は数式5により算出することができる。

【0096】

次に、図18にZ軸方向の力 $F_z$ を加えたときのダイヤフラム5の変位の状態を示す。図19に歪みゲージR11～R38の変化を示す。図16に示すブリッジ回路では、 $V_1$ 、 $V_2$ 、 $V_3$ は抵抗の変化が打ち消しあって変化しない。 $V_4$ 、 $V_5$ 、 $V_6$ はZ軸方向の力 $F_z$ に応じて変化する。したがって、力 $F_z$ は数式6により求めることができる。

【0097】

【数6】

$$F_z = V_4 + V_5 + V_6$$

【0098】

次に、第2部材3にモーメント $M_x$ を加えた場合、X軸を中心に回転する力が加えられる。このため、各ダイヤフラム4～6ではZ軸方向の力 $F_z$ が加わる。ここで、図20において、モーメント $M_x$ がダイヤフラム4、6を図面表側から裏側に向けて押すと共に、ダイヤフラム5を図面裏側から表側に向けて引っ張るように作用したとする。原点Oからダイヤフラム4～6の中心までの距離を $R$ とすると、ダイヤフラム4、6の中心からX軸までの距離は $R/2$ となり、ダイヤフラム5の中心からX軸までの距離は $R$ となる。したがって、X軸回りのモーメント $M_x$ は数式7で表される。

【0099】

【数7】

$$M_x = (V_4 \cdot R/2) - (V_5 \cdot R) + (V_6 \cdot R/2)$$

【0100】

次に、第2部材3にモーメント $M_y$ を加えた場合、ダイヤフラム4、6の中心からY軸までの距離は $\sqrt{3}R/2$ となるので、Y軸回りのモーメント $M_y$ は数式8で表される。

【0101】

【数8】

$$\begin{aligned} M_y &= (V_4 \cdot \sqrt{3}R/2) + V_5 \cdot 0 - (V_6 \cdot \sqrt{3}R/2) \\ &= \sqrt{3}R/2 (V_4 - V_6) \end{aligned}$$

【0102】

次に、図21にZ軸右回りのモーメント $M_z$ を加えたときのダイヤフラム4～6の変位の状態を示す。図22に歪みゲージR11～R38の変化を示す。歪みゲージ群R15～R18、R21～R24、R35～R38は最も感度がよい方向に歪みが発生し、図16の $V_1$ 、 $V_2$ 、 $V_3$ が最も高感度に変化する。

【0103】

一方、歪みゲージ群R11～R14、R25～R28、R31～R34は歪みゲージの感度が最も小さくなる配列方向なので、図16の $V_4$ 、 $V_5$ 、 $V_6$ はほとんど変化しない。したがって、モーメント $M_z$ は数式9で表される。

【0104】

## 【数 9】

$$M_z = V_1 + V_2 + V_3$$

## 【0105】

以上に示す数式 5～数式 9 を利用して演算を行うことにより、力やモーメントを求めることができる。例えば出力電圧  $V_1 \sim V_6$  を AD 変換してマイクロコントローラやコンピュータを用いて演算してもよい。

## 【0106】

ここで、多軸センサ 1 への力  $F_x, F_y, F_z$  とモーメント  $M_x, M_y, M_z$  の出力電圧を  $V_{fx}, V_{fy}, V_{fz}, V_{mx}, V_{my}, V_{mz}$  とし、多軸センサ 1 に実際に加わる荷重を  $F_x, F_y, F_z, M_x, M_y, M_z$  としたとき、数式 10 の関係になる。

## 【0107】

## 【数 10】

$$\begin{bmatrix} V_{fx} \\ V_{fy} \\ V_{fz} \\ V_{mx} \\ V_{my} \\ V_{mz} \end{bmatrix} = [A] \begin{bmatrix} F_x \\ F_y \\ F_z \\ M_x \\ M_y \\ M_z \end{bmatrix} \quad [A] \text{ はキャリブレーション行列}$$

## 【0108】

ここで両辺の左から  $[A]^{-1}$  を乗ずると数式 11 となる。

## 【0109】

## 【数 11】

$$\begin{bmatrix} F_x \\ F_y \\ F_z \\ M_x \\ M_y \\ M_z \end{bmatrix} = [A]^{-1} \begin{bmatrix} V_{fx} \\ V_{fy} \\ V_{fz} \\ V_{mx} \\ V_{my} \\ V_{mz} \end{bmatrix}$$

## 【0110】

これにより、出力電圧から正確な 6 軸の力およびモーメントを求めることができる。

## 【0111】

次に、本発明の第 6 の実施の形態について、図 23 および図 24 を参照して説明する。図 23 は第 6 の実施の形態による多軸センサ 1 の中央縦断面正面図であり、図 24 は多軸センサ 1 を Z 軸方向と反対方向に透視したときの歪みゲージ R11～R48 の配置を描いた平面図である。第 6 の実施の形態では、多軸センサ 1 は全体として 1 枚の円盤形状であり、4 つのダイヤフラム 4～7 を備えている。この多軸センサ 1 は 3 次元空間の直交する 3 軸方向の加速度とその軸回りの角加速度を測定するための 6 軸センサである。また、多軸センサ 1 のダイヤフラム 4～7 以外の部位、例えば外縁部が測定対象 15 に固定されて

いる。

【0112】

ダイヤフラム 4～7 は第 1 の実施形態と同様に配置されている。ただし、第 1 の実施形態とは異なり、対向するダイヤフラム 4～7 は存在しない。各ダイヤフラム 4～7 の中央部には加速度を受けて変位する作用体 16, 17, 18, 19 が設けられている。作用体 16～19 の一端はダイヤフラム 4～7 に固定され、他端は自由端になっている。また、作用体 16～19 は、いずれも同一形状である。

【0113】

また、歪みゲージ R11～R48 としては第 1 の実施形態と同様に金属箔歪みゲージとしたり、あるいは第 2 の実施形態と同様に圧電抵抗素子とすることができる。その他の構成は第 1 の実施形態と同様であるので説明を省略する。

【0114】

なお、本実施の形態では、図 23 において、作用体 16 の重心 G と作用体 18 の重心 G とを結ぶ線分の中心点を原点 O、右水平方向を X 軸、紙面に垂直手前方向 Y 軸、下垂直方向を Z 軸とそれぞれ定義する。

【0115】

本実施形態により各軸方向ごとに加速度と角加速度を検出する原理を説明する。

【0116】

X 軸方向の加速度  $a_x$  を受けた場合、図 25 に示すように作用体 16～19 が変位し、各ダイヤフラム 4～7 に歪みが発生する。このとき、歪みゲージ R11～R48 は図 26 のように X 軸方向に配列されたもののみが増加する。

【0117】

また、Y 軸方向の加速度  $a_y$  を受けた場合は、X 軸方向の加速度  $a_x$  を受けた場合と 90 度ずれているだけなので説明を省略する。

【0118】

次に、Z 軸方向の加速度  $a_z$  を受けた場合は、図 27 に示すように作用体 16～19 が変位する。これにより、歪みゲージ R11～R48 は図 28 に示すようになる。

【0119】

さらに、各軸を中心とする角加速度が作用する場合について考える。作用体 16～19 に作用するダイヤフラム 4～7 に垂直な加速度を  $a_{z1}$ ,  $a_{z2}$ ,  $a_{z3}$ ,  $a_{z4}$  とする。そして、回転の中心を Y 軸とする角加速度  $\alpha_y$  が作用すると、図 29 に示すように作用体 16, 18 に加速度  $a_{z1}$ ,  $a_{z3}$  が作用して変位し、ダイヤフラム 4～7 に歪みが発生する。このときの歪みゲージ R11～R48 の変化を図 30 に示す。

【0120】

次に、回転の中心を Z 軸とする角加速度  $\alpha_z$  が作用すると、作用体 16～19 が Z 軸を中心に同じ回転方向に変位しダイヤフラム 4～7 に歪みが発生する。このときの歪みゲージ R11～R48 の変化を図 31 に示す。

【0121】

以上の各加速度および各角加速度に対する歪みゲージ R11～R48 の抵抗値の変化を表 2 に示す。

【0122】

【表 2】

R28		+	+	-			R48		+	+	+		
R27		-	-	+			R47		-	-	-		
R26		+	-	+			R46		+	-	-		
R25		-	+	-			R45		-	+	+		
R24	+		+	-		+	R44	+		+	+		-
R23	-		-	+		-	R43	-		-	-		+
R22	+		-	+		+	R42	+		-	-		-
R21	-		+	-		-	R41	-		+	+		+
R18		+	+		-	+	R38		+	+		+	-
R17		-	-		+	-	R37		-	-		-	+
R16		+	-		+	+	R36		+	-		-	-
R15		-	+		-	-	R35		-	+		+	+
R14	+		+		-		R34	+		+		+	
R13	-		-		+		R33	-		-		-	
R12	+		-		+		R32	+		-		-	
R11	-		+		-		R31	-		+		+	
力	ax	ay	az	$\alpha_x$	$\alpha_y$	$\alpha_z$	力	ax	ay	az	$\alpha_x$	$\alpha_y$	$\alpha_z$

## 【0123】

この多軸センサ1は4個の3軸加速度センサの集合体であるが、以下の原理を利用して加速度から角加速度を検出できる。まず、半径  $r$  の円周上を円運動（回転運動）するとき、その接線加速度  $a$  は角加速度を  $\alpha$  とすると、 $a = r \cdot \alpha$ 、すなわち  $\alpha = a / r$  となる。

## 【0124】

多軸センサ1の中心から見ると、接線加速度  $a$  とは作用体16～19に働く加速度と同じである。半径  $r$  は一定なので、結局  $X$ 、 $Y$ 、 $Z$  軸方向の加速度を求めれば角加速度を求めることができる。

## 【0125】

これを利用して数式12の演算を行うことにより加速度および角加速度を検出することができる。

## 【0126】

## 【数 1 2】

$$a_x = (R_{22} + R_{42}) - (R_{23} + R_{43})$$

$$a_y = (R_{16} + R_{36}) - (R_{17} + R_{37})$$

$$a_z = (R_{11} + R_{28} + R_{34} + R_{45}) - (R_{13} + R_{26} + R_{32} + R_{47})$$

$$\alpha_x = (R_{25} + R_{46}) - (R_{27} + R_{48})$$

$$\alpha_y = (R_{14} + R_{33}) - (R_{12} + R_{31})$$

$$\alpha_z = (R_{18} + R_{24} + R_{35} + R_{41}) - (R_{15} + R_{21} + R_{38} + R_{44})$$

## 【0 1 2 7】

また、図 3 2 に示すようにブリッジ回路を構成して定電圧または定電流を印加しても加速度および角加速度を検出することができる。

## 【0 1 2 8】

この実施形態では、ダイヤフラム 4～7 の厚さや梁の厚さや幅、作用体 1 6～1 9 の大きさなどの寸法を調整してセンサ感度を調整することができる。また、本実施形態では角加速度を求めているが、この角加速度を積分することにより角速度を求めるようにしてもよい。

## 【0 1 2 9】

次に、本発明の第 7 の実施の形態について、図 3 3 を参照して説明する。第 7 の実施の形態は、多軸センサ 1 の構造としては第 6 の実施形態と同様であるが、ブリッジの構成を変形している。図 3 3 に示すように、各ブリッジは、各ダイヤフラム 4～7 上に直線的に配置された 4 個の歪みゲージから構成されている。

## 【0 1 3 0】

$V_{x1}$ ,  $V_{x2}$  は X 軸方向の加速度を示す電圧信号であり、 $V_{y1}$ ,  $V_{y2}$  は Y 軸方向の加速度を示す電圧信号である。また、 $V_{z1} \sim V_{z4}$  は Z 軸方向の加速度を示す電圧信号である。これらの信号を元に数式 1 3 に示す演算を行えば、感度良く加速度と角加速度を検出することができる。

## 【0 1 3 1】

## 【数 1 3】

$$a_x = (V_{x2}) - (V_{x1})$$

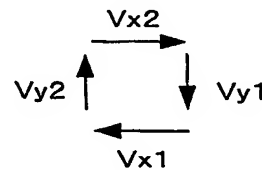
$$a_y = (V_{y2}) - (V_{y1})$$

$$a_z = (V_{z1}) + (V_{z2}) + (V_{z3}) + (V_{z4})$$

$$\alpha_x = (V_{z2}) - (V_{z4})$$

$$\alpha_y = (V_{z1}) - (V_{z3})$$

$$\alpha_z = (V_{x1}) + (V_{x2}) + (V_{y1}) + (V_{y2})$$



## 【0 1 3 2】

$a_x$ ,  $a_y$  は、 $V_{x1}$ ,  $V_{x2}$  または  $V_{y1}$ ,  $V_{y2}$  のいずれを用いても検出可能である。いずれにせよ、差動にすることにより感度を大きくすることができる。

## 【0 1 3 3】

次に、本発明の第 8 の実施の形態について、図 3 4 および図 3 5 を参照して説明する。図 3 4 は第 8 の実施の形態の多軸センサ 1 の平面図、図 3 5 は多軸センサ 1 の中央縦断面図である。この多軸センサ 1 は、第 6 の実施形態と同様に、3 次元空間の直交する 3 軸方向の加速度とその軸回りの角加速度を測定するための 6 軸センサである。この多軸センサ 1 では、半導体プロセスを利用し、シリコン基板 2 0 上にピエゾ抵抗素子 1 0 を形成すると共に、ピエゾ抵抗素子 1 0 を利用して加速度と角加速度を検出するためのブリッジ回路

を形成している。さらに、このシリコンウェハ 11 にガラス基板を接合し、マイクロマシニング技術を利用して台座 21 や作用体 16 ~ 19 を形成している。なお、ピエゾ抵抗素子 10 を形成するシリコンウェハ 11 の面方位によりゲージ率が異なるが、適切な面方位を選択することにより感度のバラツキを最低限に抑えることができる。

#### 【0134】

本実施形態では、検出素子であるピエゾ抵抗素子 10 を作用体 16 ~ 19 と台座 21 を接続する梁 22 として機能させている。また、開口部 23 を設けることにより、作用体 16 ~ 19 は加速度の作用を受けて変位し易くなり感度を高めることができる。なお、この開口部 23 は方形でも円形でも良く、また必ずしも設けなくてもよい。

#### 【0135】

本実施形態によれば、シリコン基板 20 に半導体プロセスを利用してセンサ信号の処理回路などを同時に形成でき、信号処理回路とセンサの構造体をコンパクトに一体化することができる。このため、信号処理回路とセンサの検出素子との配線を短くできるので、ノイズの影響を受け難く安定した動作を可能とすると共に多軸センサ 1 を小型化できるので設置面でも有利になる。さらに、半導体プロセスやマイクロマシニング技術の利用により、低コストで効率良く製造でき組立精度を高めることができる。

#### 【0136】

次に、本発明の第 9 の実施の形態について、図 36 および図 37 を参照して説明する。図 36 は、本発明の第 9 の実施の形態の多軸センサ 1 の中央断面図、図 37 は多軸センサ 1 を第 2 部材 3 側から Z 軸方向に透視したときの歪みゲージの配置を描いた平面図である。本実施の形態の多軸センサ 1 は、第 1 の実施の形態の多軸センサ 1 と同様に 3 次元空間の直交する 3 軸の力とその軸回りのモーメントを測定するための 6 軸力覚センサである。本実施の形態の多軸センサ 1 の構成が、第 1 の実施の形態の多軸センサ 1 と主に異なる点は、第 1 の実施の形態では、第 1 部材 2 および第 2 部材 3 は 4 つのダイヤフラム 4、5、6、7 をそれぞれ備えているが、本実施の形態の第 1 部材 2 および第 2 部材 3 は、1 つのダイヤフラム 4 をそれぞれ備えている点である。

#### 【0137】

本実施の形態の多軸センサ 1 は、第 1 部材 2 と、第 2 部材 3 と、作用体 16 ~ 19 とを有している。第 1 部材 2 と第 2 部材 3 とは、第 1 部材 2 の上面と第 2 部材 3 の下面とが対向するように配置されている。そして、第 1 部材 2 と第 2 部材 3 とは、作用体 16 ~ 19 によって連結されている。

#### 【0138】

第 1 部材 2 および第 2 部材 3 にそれぞれ備えられているダイヤフラム 4 は、互いに等しい径を有する円形状であると共に、その縁近傍には円環状の肉厚部 24 が形成されている。また、第 1 部材 2 のダイヤフラム 4 の上面には、円柱形状の 4 つの作用体 16 ~ 19 が形成されている。作用体 16 は X 軸上の正方向、作用体 17 は Y 軸上の負方向、作用体 18 は X 軸上の負方向、作用体 19 は Y 軸上の正方向において、それぞれ原点 O から等距離に形成されている。そして、作用体 16 ~ 19 の上端部は、溶接により、第 1 部材 2 と対向している第 2 部材 3 のダイヤフラム 4 の下面に接合されている。

#### 【0139】

なお、第 1 部材 2 と作用体 16 ~ 19 とは別部材であってもよいし、第 1 部材 2 と第 2 部材 3 と作用体 16 ~ 19 とを一体切削加工によって形成してもよい。また、第 2 部材と作用体 16 ~ 19 とは、ボルトによって連結されてもよい。

#### 【0140】

図 37 に示すように、20 個の歪みゲージ R11 ~ R45 が、第 1 部材 2 のダイヤフラム 4 の下面に配置されている。第 2 部材 2 のダイヤフラム 4 の下面において、作用体 16 の縁に対応する位置には、歪みゲージ R11 ~ R14 が配置されている。歪みゲージ R11、R12 は、X 軸上において、歪みゲージ R12 の方が歪みゲージ R11 よりも原点 O に近くなるように配置されている。歪みゲージ R13、14 は、X 軸と作用体 16 の中心軸とに直交する軸上において、歪みゲージ R13 が Y 軸正方向、歪みゲージ R14 が Y 軸

負方向に対応するように配置されている。また、ダイヤフラム 4 の縁において、X 軸正方向に対応する位置には、歪みゲージ R 15 が配置されている。

【0141】

同様に、第 2 部材 2 のダイヤフラム 4 の下面において、作用体 17 の縁に対応する位置には歪みゲージ R 21 ~ R 24 が配置されており、作用体 18 の縁に対応する位置には歪みゲージ R 31 ~ R 34 が配置されており、作用体 19 の縁に対応する位置には歪みゲージ R 41 ~ R 44 が配置されている。また、ダイヤフラム 4 の縁において、Y 軸負方向に対応する部分には歪みゲージ R 25 が配置されており、X 軸負方向に対応する位置には歪みゲージ R 35 が配置されており、Y 軸正方向に対応する位置には歪みゲージ R 45 が配置されている。

【0142】

なお、歪みゲージ R 15、R 25、R 35、R 45 の配置位置についてはこれに限らず、第 1 部材 2 のダイヤフラム 4 の下面におけるダイヤフラム 4 の縁部、または作用体 16 ~ 19 の縁に対応する位置において、原点 O を中心に 90 度おき、かつ原点 O から等距離の位置であればどこに配置されてもよい。

【0143】

次に、各成分ごとに力やモーメントを検出する原理を説明する。以下、第 1 部材 2 を固定し、第 2 部材 3 に力やモーメントが作用するものとする。

【0144】

図 38 に、第 2 部材 3 に対して X 軸方向の力  $F_x$  を加えたときの多軸センサ 1 の状態を示す。このときは、第 1 部材 2 および第 2 部材 3 のダイヤフラム 4 は図示したように変位し、歪みが検出される。このときの歪みゲージ R 11 ~ R 45 の抵抗値の変化を、図 39 に示す。また、第 2 部材 3 に対して Y 軸方向の力  $F_y$  を加えたときは、X 軸方向の力  $F_x$  を加えたときの状態を 90 度ずらして考えればよいので、ここでは省略する。また、図 40 に、第 2 部材 3 に対して Z 軸方向の力  $F_z$  を加えたときの多軸センサ 1 の状態を示す。図 41 に、第 2 部材 3 に対して Z 軸方向の力  $F_z$  を加えたときの各歪みゲージ R 11 ~ R 45 の抵抗値の変化を示す。

【0145】

図 42 に、第 2 部材 3 に対して X 軸のモーメント  $M_x$  を加えたときの多軸センサ 1 の状態を示す。図 43 に、このときの各歪みゲージ R 11 ~ R 45 の抵抗値の変化を示す。また、第 2 部材 3 に対して Y 軸のモーメント  $M_y$  を加えたときは、X 軸のモーメント  $M_x$  を加えたときの状態を 90 度ずらして考えればよいので、ここでは省略する。また、第 2 部材 3 に対して Z 軸のモーメント  $M_z$  を加えたときは、第 2 部材 3 を Z 軸を中心に回転させる。図 44 に、第 2 部材 3 に対して Z 軸のモーメント  $M_z$  を加えたときの、各歪みゲージ R 11 ~ R 45 の抵抗値の変化を示す。

【0146】

表 3 に上述した各力およびモーメントに対する歪みゲージ R 11 ~ R 45 の変化を示す。

【0147】

【表 3】

力	R11	R12	R13	R14	R15	R21	R22	R23	R24	R25
F <sub>x</sub>	+	-			-	+	-			
F <sub>y</sub>			+	-				+	-	+
F <sub>z</sub>	+				-				+	-
M <sub>x</sub>								-	-	+
M <sub>y</sub>	+	+			-					
M <sub>z</sub>			-	+		-	+			

力	R31	R32	R33	R34	R35	R41	R42	R43	R44	R45
F <sub>x</sub>	+	-			+	+	-			
F <sub>y</sub>			+	-				+	-	-
F <sub>z</sub>		+			-			+		-
M <sub>x</sub>								+	+	-
M <sub>y</sub>	-	-			+					
M <sub>z</sub>			+	-		+	-			

## 【0148】

以上の性質を利用して、数式 14 の演算を行うことにより各力およびモーメントを検出することができる。なお、演算方法は数式 14 に限られないのは勿論である。

## 【0149】

## 【数 14】

$$F_x = R_{41} - R_{22}$$

$$F_y = R_{13} - R_{34}$$

$$F_z = R_{15} + R_{25} + R_{35} + R_{45}$$

$$M_x = (R_{43} + R_{44}) - (R_{23} + R_{24})$$

$$M_y = (R_{11} + R_{12}) - (R_{31} + R_{32})$$

$$M_z = (R_{14} + R_{33}) - (R_{21} + R_{42})$$

## 【0150】

上述の演算は、図 45 のようにブリッジ回路を構成し、定電圧や定電流を印加して力およびモーメントを検出すれば、効率良く行うことができる。図 45 では定電圧を印加した場合を示している。ここで、図 45 に示すように、F<sub>x</sub> および F<sub>y</sub> を検出する回路は、温度変化によって生じる出力値の誤差を補償することができないハーフブリッジとなってい

る。したがって、図46に示すようなダミー回路をさらに設け、その出力電圧 $V_1$ との差を演算している。これにより、周囲温度の変化によるドリフトや同相ノイズが打ち消し合い、安定して出力が得られる。なお、図46の歪みゲージ $R_{d1}$ 、 $R_{d2}$ は、固定部8のように、多軸センサ1に対して負荷が加えられた場合に歪みが殆ど生じない位置に配置されている。

#### 【0151】

また、 $F_z$ を検出するブリッジ回路に含まれる抵抗 $R_a$ 、 $R_b$ は、いずれも回路上のダミーの固定抵抗である。そして、抵抗 $R_a$ 、 $R_b$ の抵抗値は、 $R_a = (R_{15} + R_{25})$ 、 $R_b = (R_{35} + R_{45})$ であるのが好ましい。

#### 【0152】

以上のように、本実施の形態の多軸センサ1では、第1部材2と第2部材3とに、それぞれ1つのダイヤフラム4が設けられる。したがって、第1部材2と第2部材3とに複数のダイヤフラムを設ける場合と比べて、多軸センサ1を小型化することが可能となる。また、多軸センサの形状が簡素化するので、切削加工に要するコストを低減することができる。

#### 【0153】

また、本実施の形態の多軸センサ1では、第1部材2に複数のダイヤフラムを設ける場合と比べて、少ない歪みゲージで多軸の力およびモーメントを計測することができる。したがって、歪みゲージのコストおよび配線のコストを削減することができる。

#### 【0154】

次に、本発明の第10の実施の形態について、図47を参照して説明する。図47は、第10の実施の形態による多軸センサ1を第2部材3側からZ軸方向に透視したときの歪みゲージ $R_{11} \sim R_{35}$ の配置を描いた平面図である。本実施の形態の多軸センサ1は、第1の実施の形態の多軸センサ1と同様に3次元空間の直交する3軸の力とその軸回りのモーメントを測定するための6軸力覚センサである。本実施の形態の多軸センサ1の構成が、第1の実施の形態の多軸センサ1と主に異なる点は、第1の実施の形態では、第1部材2および第2部材3は4つのダイヤフラム4、5、6、7をそれぞれ備えているが、本実施の形態の第1部材2および第2部材3は、1つのダイヤフラム4を備えている点である。

#### 【0155】

本実施の形態の多軸センサ1は、第1部材2と、第2部材3と、作用体16~18とを有している。第1部材2と第2部材3とは、第1部材2の上面と第2部材3の下面とが対向するように配置されている。そして、第1部材2と第2部材3とは、作用体16~18によって連結されている。

#### 【0156】

第1部材2および第2部材3にそれぞれ備えられているダイヤフラム4は、互いに等しい径を有する円形状であると共に、その縁近傍には円環状の肉厚部24が形成されている。また、第1部材2のダイヤフラム4の上面には、円柱形状の3つの作用体16~18が形成されている。作用体16は原点Oを通りY軸負方向からX軸正方向に120度をなす線分CO上、作用体17はY軸上の負方向、作用体18は原点Oを通りY軸負方向からX軸負方向に120度をなす線分DO上において、それぞれ原点Oから等距離に形成されている。そして、作用体16~18の上端部は、溶接により、第1部材2と対向している第2部材3のダイヤフラム4の下面に接合されている。

#### 【0157】

図47に示すように、15個の歪みゲージ $R_{11} \sim R_{35}$ が、第1部材2のダイヤフラム4の下面に配置されている。第2部材2のダイヤフラム4の下面において、作用体16の縁に対応する位置には歪みゲージ $R_{11} \sim R_{14}$ が、作用体17の縁に対応する位置には歪みゲージ $R_{21} \sim R_{24}$ が、作用体18の縁に対応する位置には歪みゲージ $R_{31} \sim R_{34}$ が、ダイヤフラム4の縁部には歪みゲージ $R_{15}$ 、 $R_{25}$ 、 $R_{35}$ がそれぞれ配置されている。

## 【0158】

次に、各軸方向ごとに力とモーメントを検出する原理を説明する。直線上に配置された複数の歪みゲージから成る歪みゲージ群は、配置された列方向に引っ張りや圧縮の歪みを加えた場合、最も歪みに対する抵抗値の変化の率が大きくなり感度が高くなる。本実施の形態の、歪みゲージR11、R12、歪みゲージR13、R14、歪みゲージR21、R22、歪みゲージR23、R24、歪みゲージR31、R32、歪みゲージR33、R34からなる6個の歪みゲージ群は、それぞれ最も感度が大きくなる方向が異なる。しかし、各歪みゲージ群の感度をX、Y、Z軸方向のベクトルに分解して考えれば6軸成分の力やモーメントを検出することができる。

## 【0159】

図47に示す歪みゲージR11～R33に対して図48に示すブリッジ回路を構成し、定電圧または定電流を加える。ここで、図48のブリッジ回路に含まれる抵抗Ra～Roは、いずれも回路上のダミーの固定抵抗である。なお、各抵抗Ra～Roの抵抗値は、各歪みゲージR11～R33の抵抗値とほぼ等しいことが好ましい。

## 【0160】

図48のフルブリッジ回路により、歪みゲージR11、R12でX軸正方向からY軸正方向に30度方向の力成分を電圧Vaとして検出でき、歪みゲージR13、R14でX軸正方向からY軸負方向に60度方向の力成分を電圧Vbとして検出でき、歪みゲージR21、R22でX軸正方向からY軸正方向に180度方向の力成分を電圧Vcとして検出でき、歪みゲージR23、R24でX軸正方向からY軸負方向に90度方向の力成分を電圧Vdとして検出でき、歪みゲージR31、R32でX軸正方向からY軸正方向に150度方向の力成分を電圧Veとして検出でき、歪みゲージR33、R34でX軸正方向からY軸負方向に120度方向の力成分を電圧Vfとして検出できる。また、図48のハーフブリッジ回路により、歪みゲージR15で作用体16の中心のZ軸方向の力成分を電圧Vz1として検出でき、歪みゲージR25で作用体17の中心のZ軸方向の力成分を電圧Vz2として検出でき、歪みゲージR35で作用体18の中心のZ軸方向の力成分を電圧Vz1として検出できる。

## 【0161】

ここで、フルブリッジ回路からの出力電圧Va～Vfを、X軸及びY軸成分のベクトルにそれぞれ分解すると数式15のように表すことができる。

## 【0162】

## 【数15】

$$\begin{aligned} V_a &= (V_{ax}, V_{ay}) = (V_a/2, V_a \cdot \sqrt{3}/2) \\ V_b &= (V_{bx}, V_{by}) = (V_b \cdot \sqrt{3}/2, -V_b/2) \\ V_c &= (V_{cx}, V_{cy}) = (V_c, 0) \\ V_d &= (V_{dx}, V_{dy}) = (0, V_d) \\ V_e &= (V_{ex}, V_{ey}) = (V_e/2, -V_e \cdot \sqrt{3}/2) \\ V_f &= (V_{fx}, V_{fy}) = (V_f \cdot \sqrt{3}/2, V_f/2) \end{aligned}$$

## 【0163】

したがって、第2部材3に作用するX軸方向の合力をFx、Y軸方向の合力をFyとすると、式16のように検出することができる。

## 【0164】

## 【数 16】

$$\begin{aligned}
 F_x &= V_{ax} + V_{bx} + V_{cx} + V_{dx} + V_{ex} + V_{fx} \\
 &= (V_a / 2) + (V_b \cdot \sqrt{3} / 2) + V_c + (V_e / 2) + (V_f \cdot \sqrt{3} / 2) \\
 F_y &= V_{ay} + V_{by} + V_{cy} + V_{dy} + V_{ey} + V_{fy} \\
 &= (V_a \cdot \sqrt{3} / 2) - (V_b / 2) + V_d - (V_e \cdot \sqrt{3} / 2) + (V_f / 2)
 \end{aligned}$$

## 【0165】

また、ハーフブリッジ回路の出力電圧  $V_{z1}$ 、 $V_{z2}$ 、 $V_{z3}$  は Z 軸方向の力  $F_z$  に応じて変化する。したがって、力  $F_z$  については、数式 17 によって求めることができる。

## 【0166】

## 【数 17】

$$F_z = V_{z1} + V_{z2} + V_{z3}$$

## 【0167】

次に、第 2 部材 3 にモーメント  $M_x$  を加えた場合、X 軸を中心に回転する力が加えられる。ここでは、Y 軸正の部分を Z 軸負方向から Z 軸正方向に向けて押すと共に、Y 軸負の部分を Z 軸正方向から Z 軸負方向に向けて引っ張るようにモーメント  $M_x$  が働くとする。また、原点 O から作用体 16～18 の中心までの距離を  $R$  とすると、作用体 16、18 のそれぞれの中心から X 軸までの距離は  $R/2$  となり、作用体 17 の中心から X 軸までの距離は  $R$  となる。したがって、各作用体 16～18 の中心に働く力の方向を考慮すると、X 軸回りのモーメント  $M_x$  は数式 18 で表される。

## 【0168】

## 【数 18】

$$M_x = (F_{z1} \cdot R / 2) - (F_{z2} \cdot R) + (F_{z3} \cdot R / 2)$$

## 【0169】

次に、第 2 部材 3 に対して、X 軸正の部分を Z 軸正方向から Z 軸負方向に向けて押すと共に、X 軸負の部分を Z 軸負方向から Z 軸正方向に向けて引っ張るようにモーメント  $M_y$  を加えた場合について考える。ここで、作用体 16、18 の中心から Y 軸までの距離は  $\sqrt{3}R/2$  であり、作用体 17 の中心は Y 軸上にある。したがって、各作用体 16～18 の中心に働く力の方向を考慮すると、Y 軸回りのモーメント  $M_y$  は数式 19 で表される。

## 【0170】

## 【数 19】

$$\begin{aligned}
 M_y &= (F_{z1} \cdot \sqrt{3}R / 2) + F_{z2} \cdot 0 - (F_{z3} \cdot \sqrt{3}R / 2) \\
 &= \sqrt{3} / 2 (F_{z1} - F_{z3})
 \end{aligned}$$

## 【0171】

次に、第 2 部材 3 に対して、Z 軸右回りのモーメント  $M_z$  を加えた場合について考える。このとき、歪みゲージ  $R_{13}$ 、 $R_{14}$ 、 $R_{21}$ 、 $R_{22}$ 、 $R_{33}$ 、 $R_{34}$  で構成される 3 つの歪みゲージ群は最も感度の高い方向に歪みが発生する。したがって、図 48 の回路の出力電圧  $V_b$ 、 $V_c$ 、 $V_f$  が最も高感度に変化する。一方、歪みゲージ  $R_{11}$ 、 $R_{12}$ 、 $R_{23}$ 、 $R_{24}$ 、 $R_{31}$ 、 $R_{32}$  で構成される 3 つの歪みゲージ群は歪みゲージの感度が最も低くなる配列方向である。したがって、図 48 の回路の出力電圧  $V_a$ 、 $V_d$ 、 $V_e$

はほとんど変化しない。よって、各作用体16～18の中心に働く力の方向を考慮すると、モーメント $M_z$ は数式20で表される。

【0172】

【数20】

$$M_z = -V_b + V_c - V_f$$

【0173】

以上に示す数式15～数式20を利用して演算を行うことにより、力やモーメントを求めることができる、例えば出力電圧 $V_a \sim V_f$ 及び $V_{z1} \sim V_{z3}$ をAD変換してマイクロコントローラやコンピュータを利用して演算してもよい。

【0174】

以上のように、本実施の形態の多軸センサ1では、第9の実施の形態と同様の効果を得ることができる。また、ダイヤフラムに3つの作用体を形成することで、多軸の力およびモーメントを算出することができるので、多軸センサ1の構成を更に簡易化することができる。

【0175】

以上、本発明の好適な実施の形態について説明したが、本発明は上述の実施の形態に限られるものではなく、特許請求の範囲に記載した限りにおいて様々な設計変更が可能なものである。例えば、上述の第1～第10の実施の形態では、歪みゲージを第1部材2に対して個別に貼り付けているが、これには限られず全ての歪みゲージが一平面に貼り付けられることを利用して、歪みゲージをダイヤフラム4～7ごとに1枚のベース板に集積してダイヤフラム4～7に貼り付けるようにしてもよい。あるいは全ての歪みゲージを1枚のベース板に集積して貼り付けてもよい。また、歪みゲージや回路を形成する導電性の配線は、ダイヤフラム4～7にスパッタリングや蒸着により薄い絶縁膜を形成し、その上にスパッタリングや蒸着により形成された酸化クロム薄膜であってもよい。このようにして形成された歪みゲージは、一般的な箔歪みゲージに比べてゲージ率が10倍以上大きいので、一般的な箔歪みゲージを利用する場合に比べて感度を10倍以上大きくすることができる。また、歪みゲージをダイヤフラム4～7に貼り付ける作業工程が簡易化され、作業効率が高まって生産性が飛躍的に向上してコストの低減を図ることができる。

【0176】

また、上述の第1～第10の実施の形態では、6軸の力およびモーメント、あるいは加速度および角加速度を検出する多軸センサについて説明しているが、これに限らず例えばX軸とY軸との2方向の力だけを検出する2軸センサとして使用してもよい。

【0177】

また、上述の第1～第10の実施の形態ではダイヤフラムを等角度ごとに配置しているがこれには限られない。さらに、ダイヤフラムは原点Oから等距離に配置することにも限られない。

【0178】

また、上述の第9および第10の実施の形態では作用体を等角度ごとに配置しているがこれには限られない。さらに、作用体は原点Oから等距離に配置することにも限られない。

【図面の簡単な説明】

【0179】

【図1】本発明の第1の実施の形態による多軸センサを描いた図であり、(A)は第2部材側からZ軸方向に透視したときの歪みゲージの配置を描いた平面図、(B)は中央縦断面正面図である。

【図2】直交座標軸を示す斜視図である。

【図3】多軸センサに力 $F_x$ を加えたときの変位を示す中央縦断面正面図である。

【図 4】多軸センサに力  $F_x$  を加えたときの歪みゲージの抵抗値の変化を示す平面図である。

【図 5】多軸センサに力  $F_z$  を加えたときの変位を示す中央縦断面正面図である。

【図 6】多軸センサに力  $F_z$  を加えたときの歪みゲージの抵抗値の変化を示す平面図である。

【図 7】多軸センサにモーメント  $M_x$  を加えたときの変位を示す中央縦断面正面図である。

【図 8】多軸センサにモーメント  $M_x$  を加えたときの歪みゲージの抵抗値の変化を示す平面図である。

【図 9】多軸センサにモーメント  $M_z$  を加えたときの歪みゲージの抵抗値の変化を示す平面図である。

【図 10】多軸センサのブリッジ回路の一例を示す回路図である。

【図 11】第 2 の実施の形態による多軸センサを描いた中央縦断面正面図である。

【図 12】第 3 の実施の形態によるブリッジ回路の一例を示す回路図である。

【図 13】第 4 の実施の形態による多軸センサを描いた中央縦断面正面図である。

【図 14】第 4 の実施の形態による多軸センサのアンプ回路および判断手順を示すブロック図である。

【図 15】第 5 の実施の形態による多軸センサの第 2 部材側から Z 軸方向に透視したときの歪みゲージの配置を描いた平面図である。

【図 16】多軸センサのブリッジ回路の一例を示す回路図である。

【図 17】多軸センサに力  $F_y$  を加えたときの変位を示す中央縦断面正面図である。

【図 18】多軸センサに力  $F_z$  を加えたときの変位を示す中央縦断面正面図である。

【図 19】多軸センサに力  $F_z$  を加えたときの歪みゲージの抵抗値の変化を示す平面図である。

【図 20】多軸センサにモーメント  $M_x$  を加えたときの歪みゲージの抵抗値の変化を示す平面図である。

【図 21】多軸センサにモーメント  $M_z$  を加えたときの変位を示す中央縦断面正面図である。

【図 22】多軸センサにモーメント  $M_z$  を加えたときの歪みゲージの抵抗値の変化を示す平面図である。

【図 23】第 6 の実施の形態による多軸センサを描いた中央縦断面正面図である。

【図 24】第 6 の実施の形態による多軸センサを Z 軸の逆方向に透視したときの歪みゲージの配置を描いた平面図である。

【図 25】多軸センサに加速度  $a_x$  を加えたときの変位を示す中央縦断面正面図である。

【図 26】多軸センサに加速度  $a_x$  を加えたときの歪みゲージの抵抗値の変化を示す平面図である。

【図 27】多軸センサに加速度  $a_z$  を加えたときの変位を示す中央縦断面正面図である。

【図 28】多軸センサに加速度  $a_z$  を加えたときの歪みゲージの抵抗値の変化を示す平面図である。

【図 29】多軸センサに角加速度  $\alpha_y$  を加えたときの変位を示す中央縦断面正面図である。

【図 30】多軸センサに角加速度  $\alpha_y$  を加えたときの歪みゲージの抵抗値の変化を示す平面図である。

【図 31】多軸センサに角加速度  $\alpha_z$  を加えたときの歪みゲージの抵抗値の変化を示す平面図である。

【図 32】多軸センサのブリッジ回路の一例を示す回路図である。

【図 33】第 7 の実施の形態によるブリッジ回路の一例を示す回路図である。

【図 34】第 8 の実施の形態による多軸センサを示す平面図である。

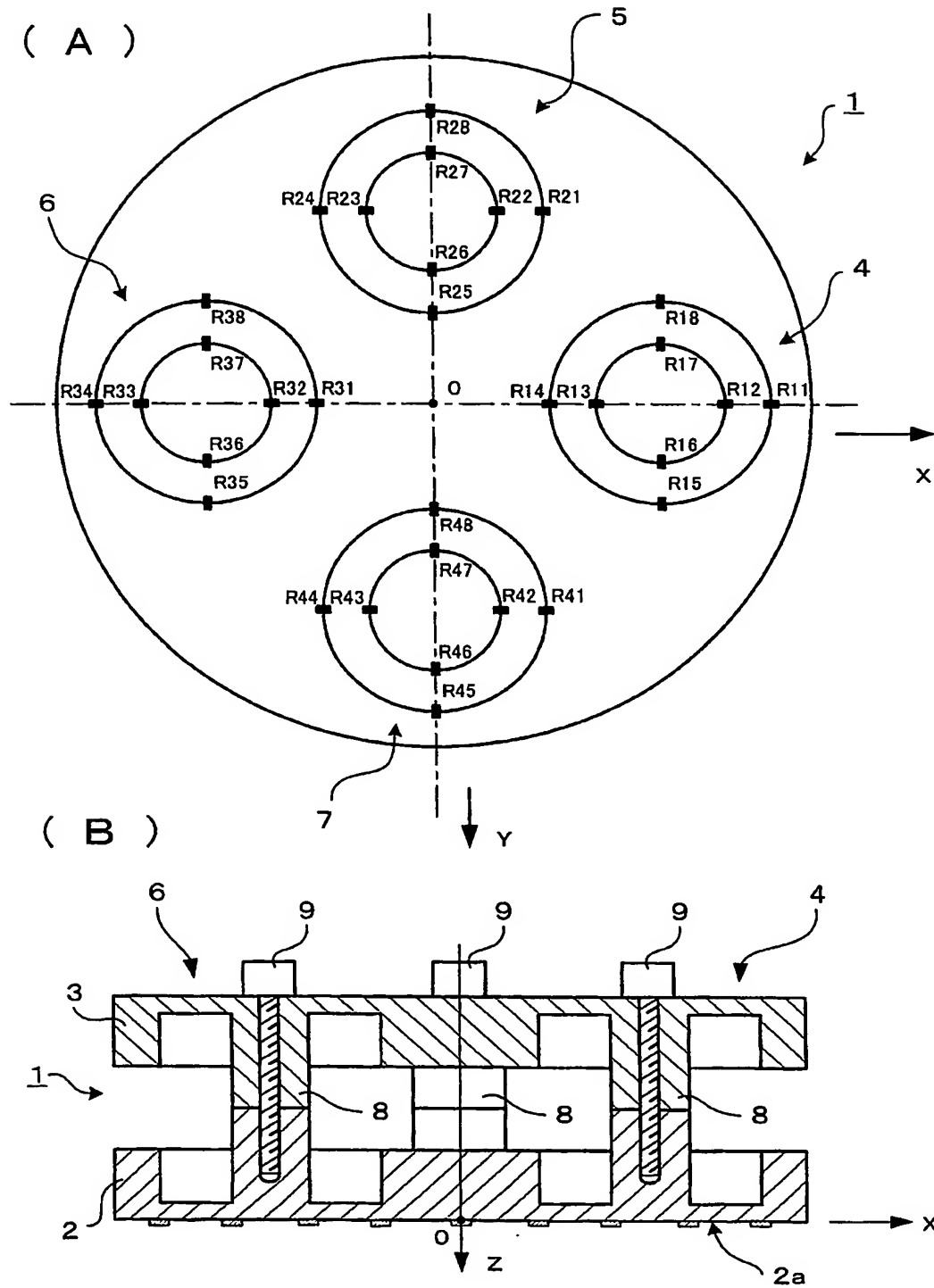
- 【図 3 5】第 8 の実施の形態による多軸センサを描いた中央縦断面正面図である。
- 【図 3 6】第 9 の実施の形態による多軸センサを描いた中央縦断面正面図である。
- 【図 3 7】第 9 の実施の形態による多軸センサの第 2 部材側から Z 軸方向に透視したときの歪みゲージの配置を描いた平面図である。
- 【図 3 8】多軸センサに力  $F_x$  を加えたときの変位を示す中央縦断面正面図である。
- 【図 3 9】多軸センサに力  $F_x$  を加えたときの歪みゲージの抵抗値の変化を示す平面図である。
- 【図 4 0】多軸センサに力  $F_z$  を加えたときの変位を示す中央縦断面正面図である。
- 【図 4 1】多軸センサに力  $F_z$  を加えたときの歪みゲージの抵抗値の変化を示す平面図である。
- 【図 4 2】多軸センサに力  $M_x$  を加えたときの変位を示す中央縦断面正面図である。
- 【図 4 3】多軸センサに力  $M_x$  を加えたときの歪みゲージの抵抗値の変化を示す平面図である。
- 【図 4 4】多軸センサに力  $M_z$  を加えたときの歪みゲージの抵抗値の変化を示す平面図である。
- 【図 4 5】多軸センサのブリッジ回路の一例を示す回路図である。
- 【図 4 6】多軸センサのダミー回路の一例を示す回路図である。
- 【図 4 7】第 10 の実施の形態による多軸センサの第 2 部材側から Z 軸方向に透視したときの歪みゲージの配置を描いた平面図である。
- 【図 4 8】第 10 の実施の形態によるブリッジ回路の一例を示す回路図である。
- 【図 4 9】従来の多軸センサを描いた斜視図である。

## 【符号の説明】

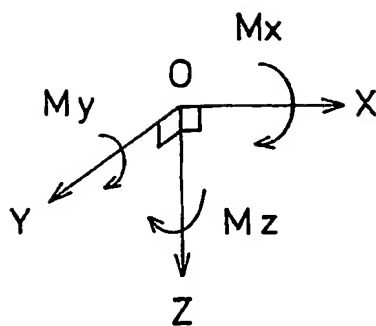
【0180】

- 1 多軸センサ
- 2 第 1 部材
- 3 第 2 部材
- 4, 5, 6, 7 ダイヤフラム
- 8 中心軸
- 10 ピエゾ抵抗素子
- 16、17、18、19 作用体
- R11～R48、R111～R148 歪みゲージ

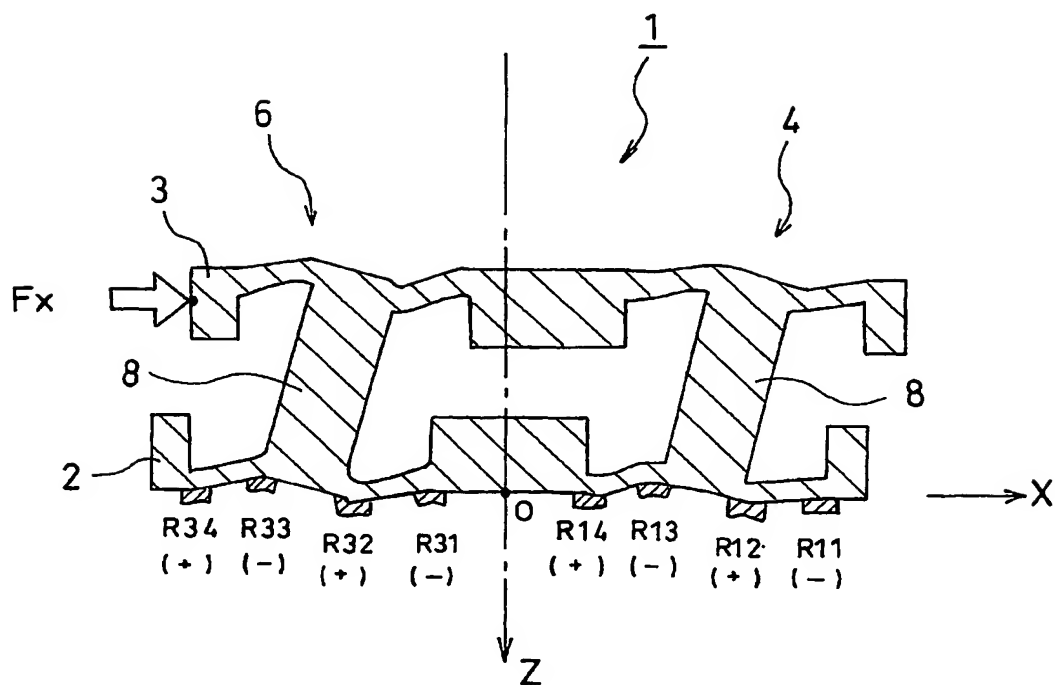
【書類名】 図面  
【図 1】



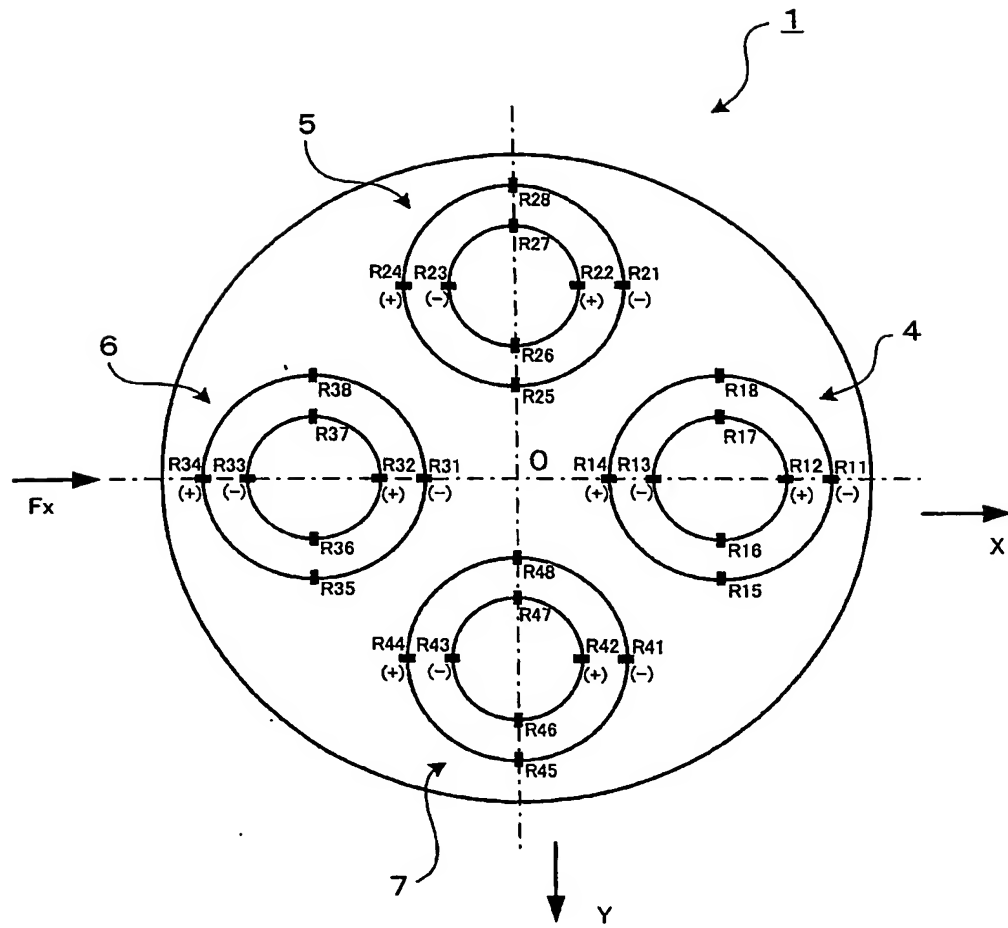
【図 2】



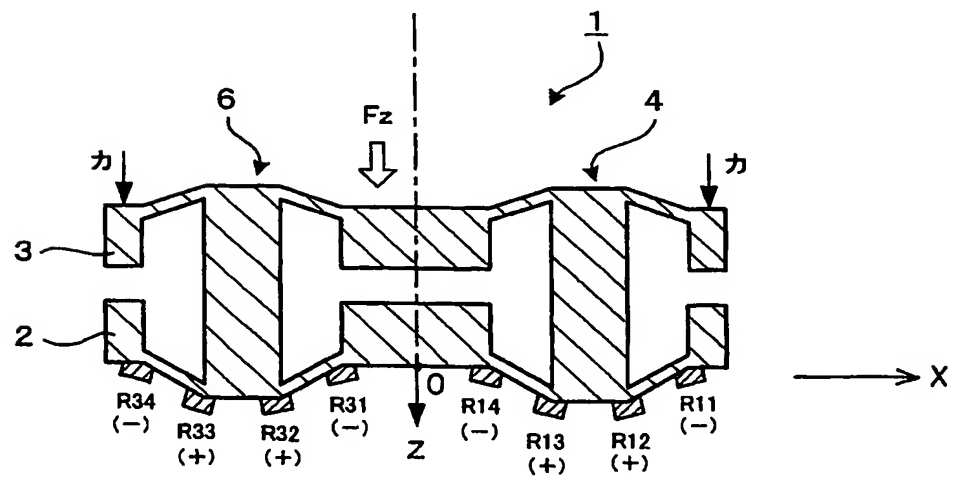
【図 3】



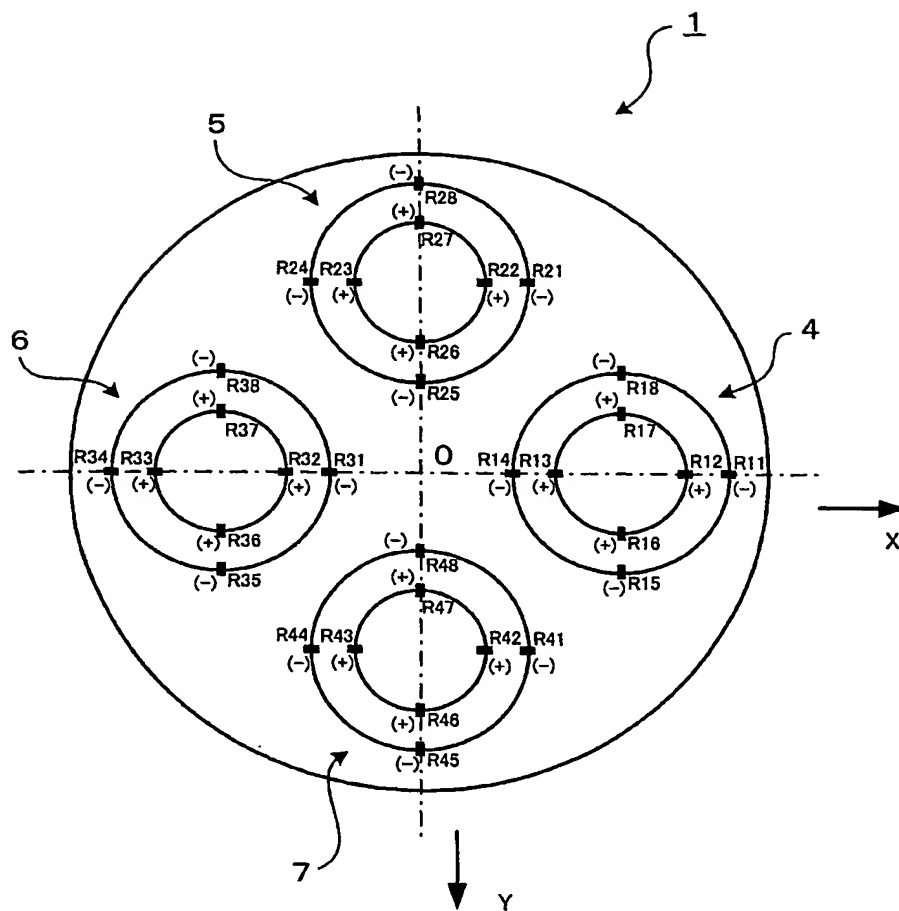
【図 4】



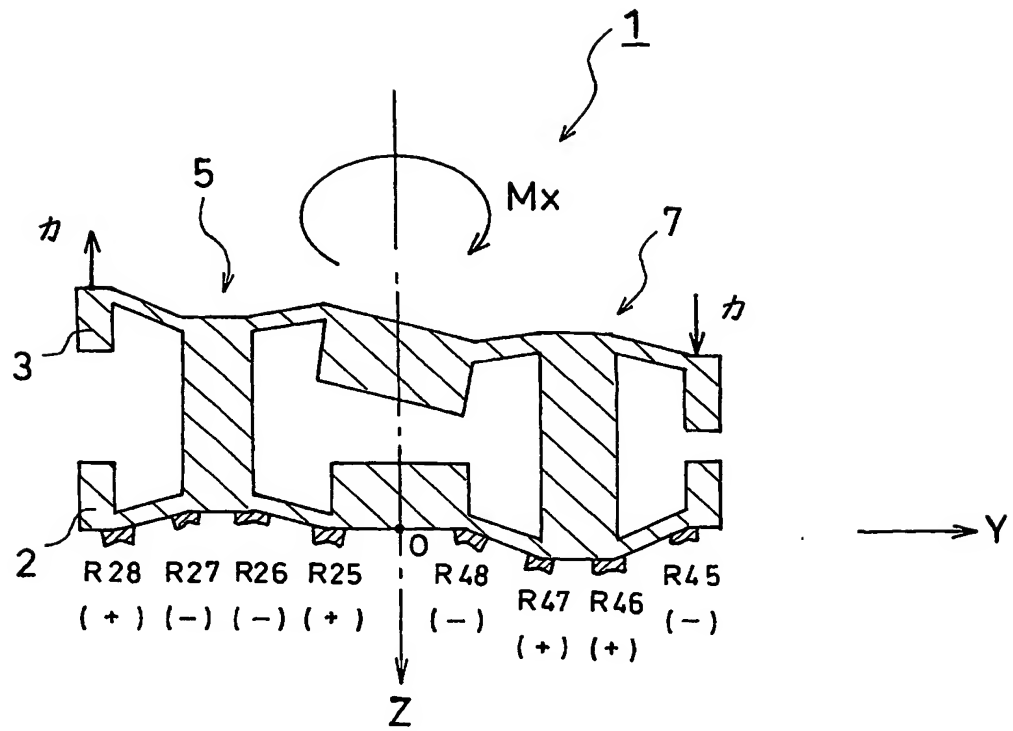
【図 5】



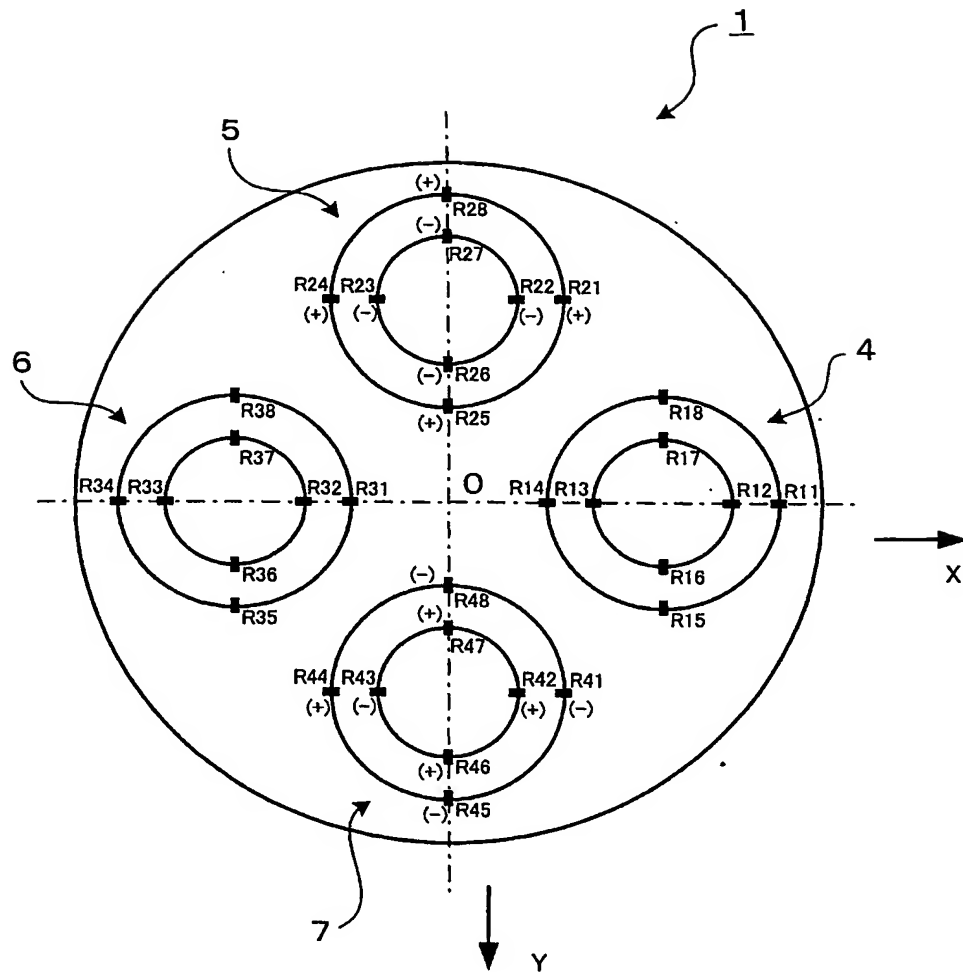
【図 6】



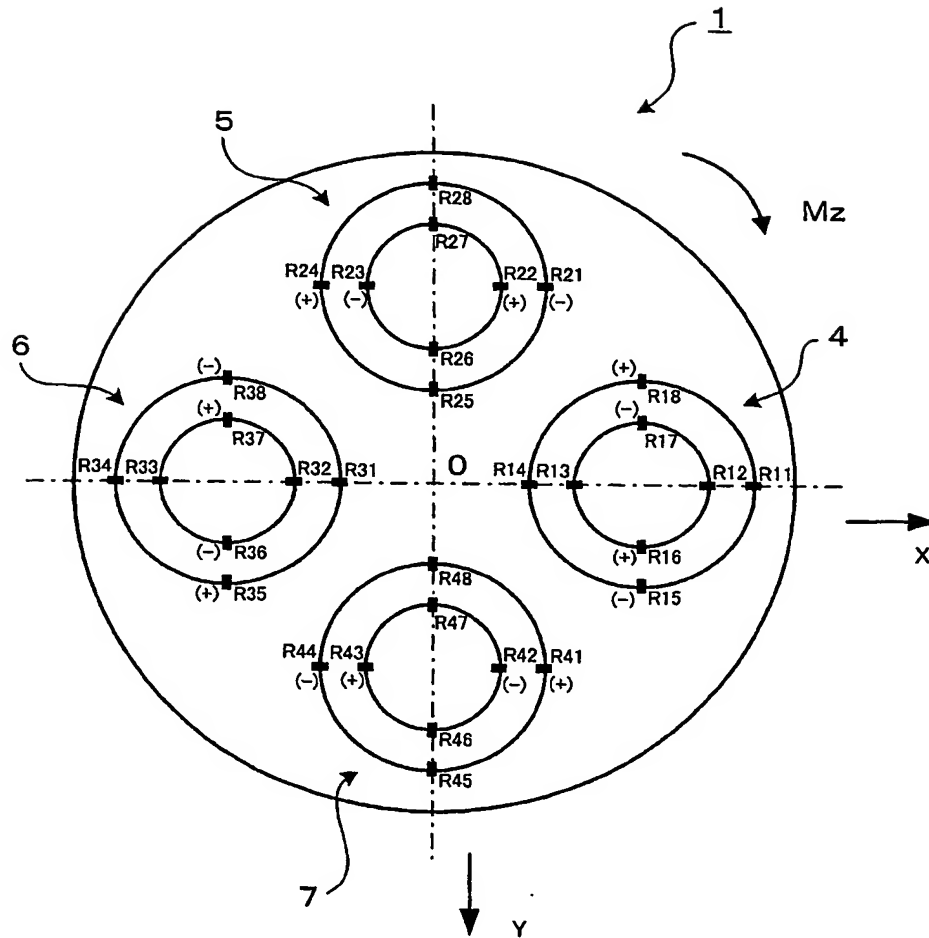
【図 7】



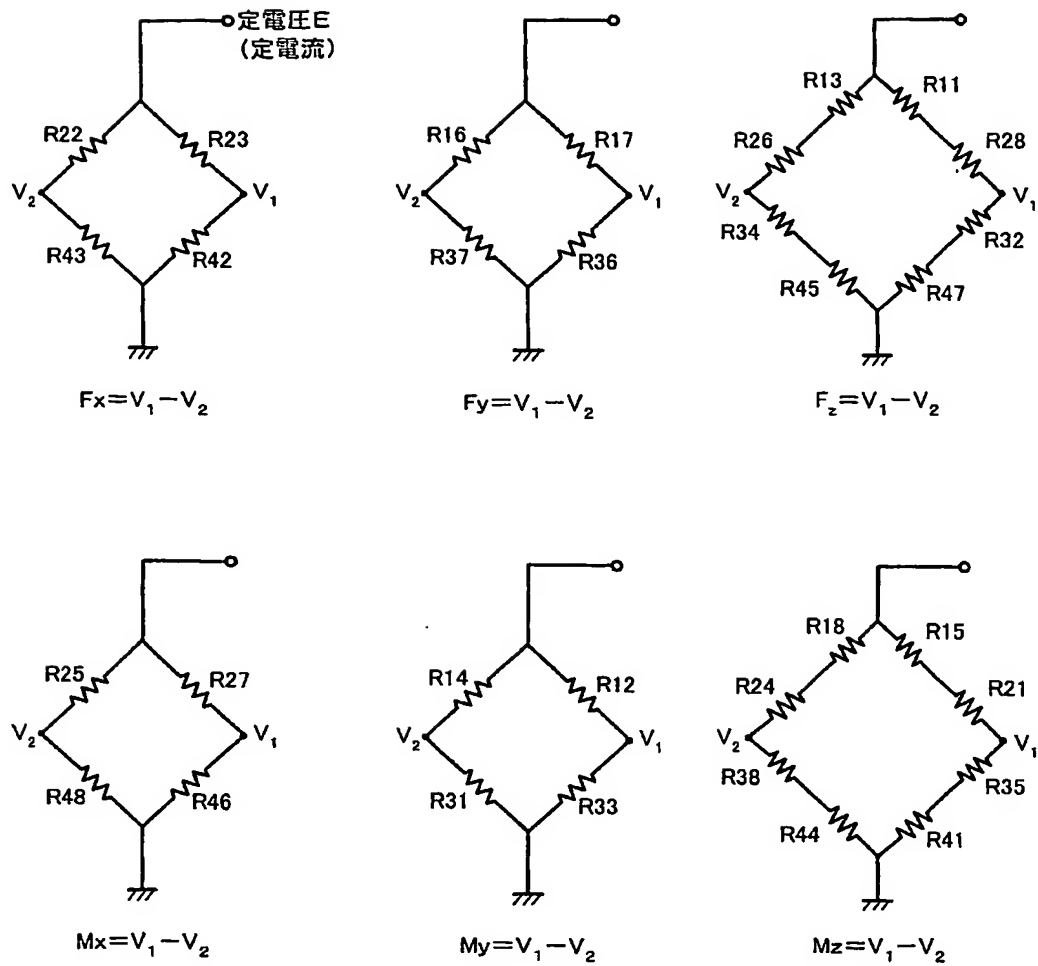
【図 8】



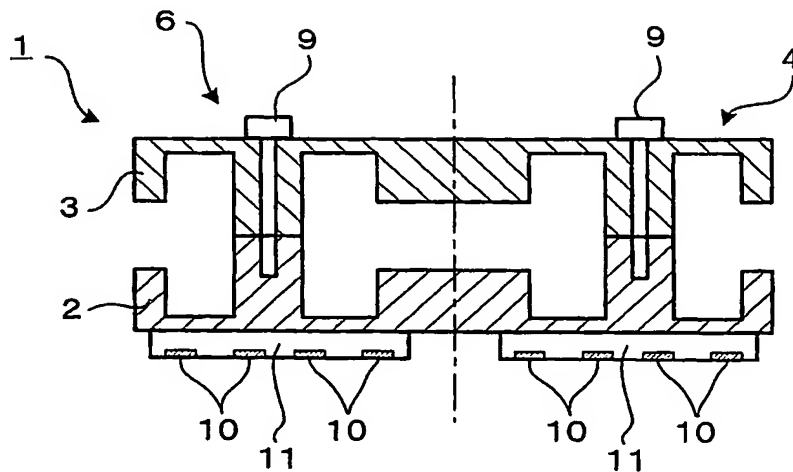
【図 9】



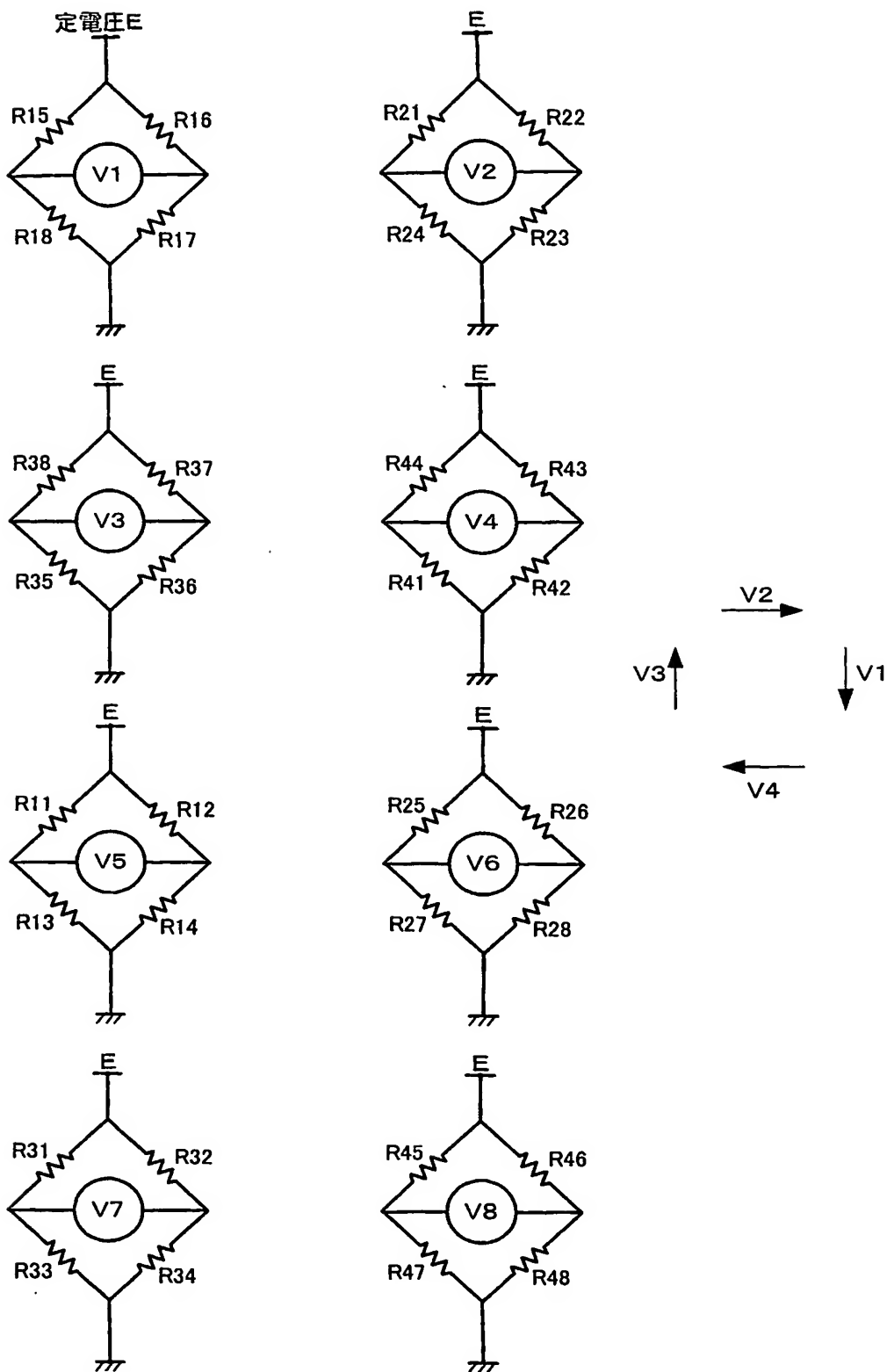
【図 10】



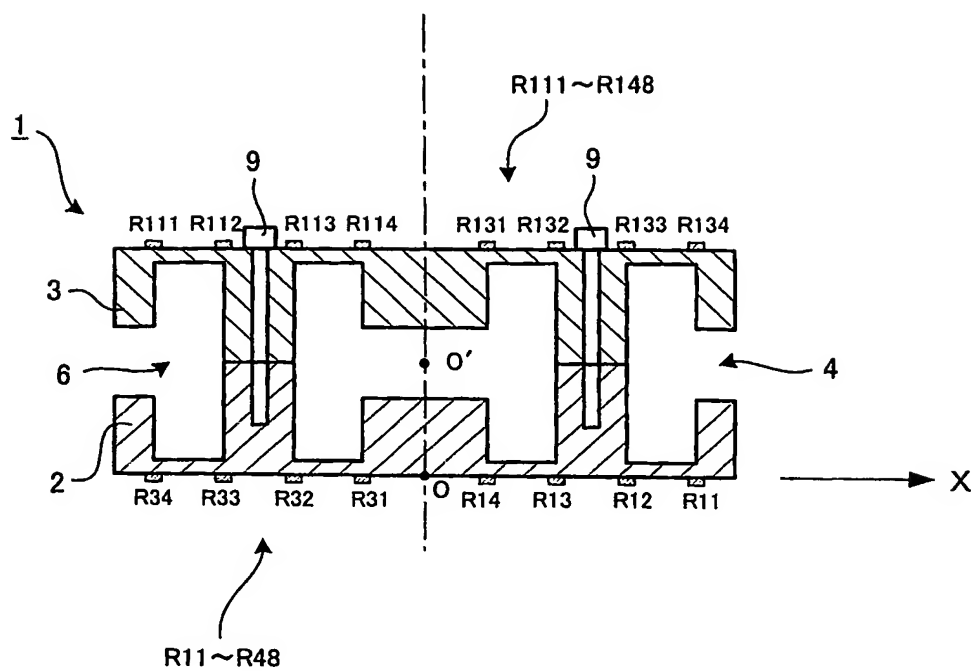
【図 11】



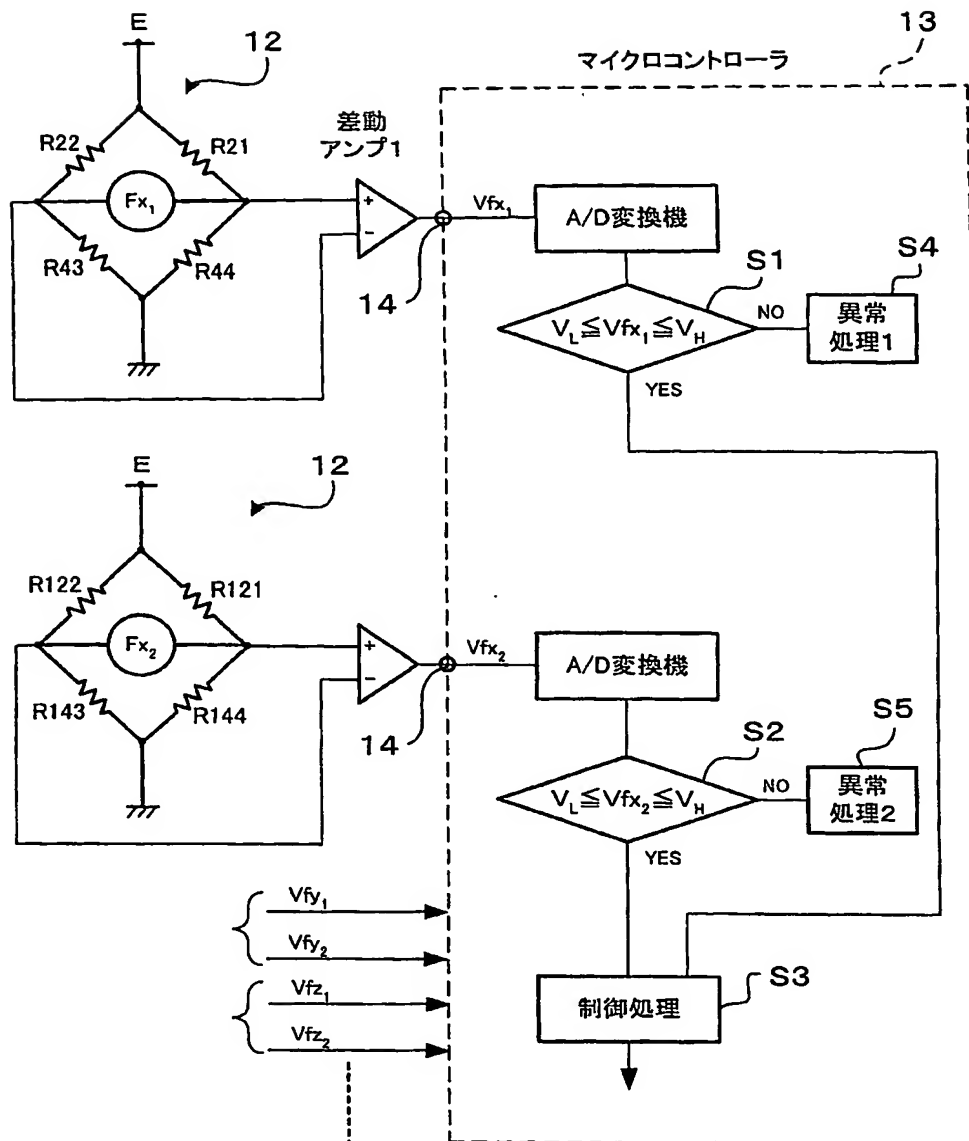
【図 12】



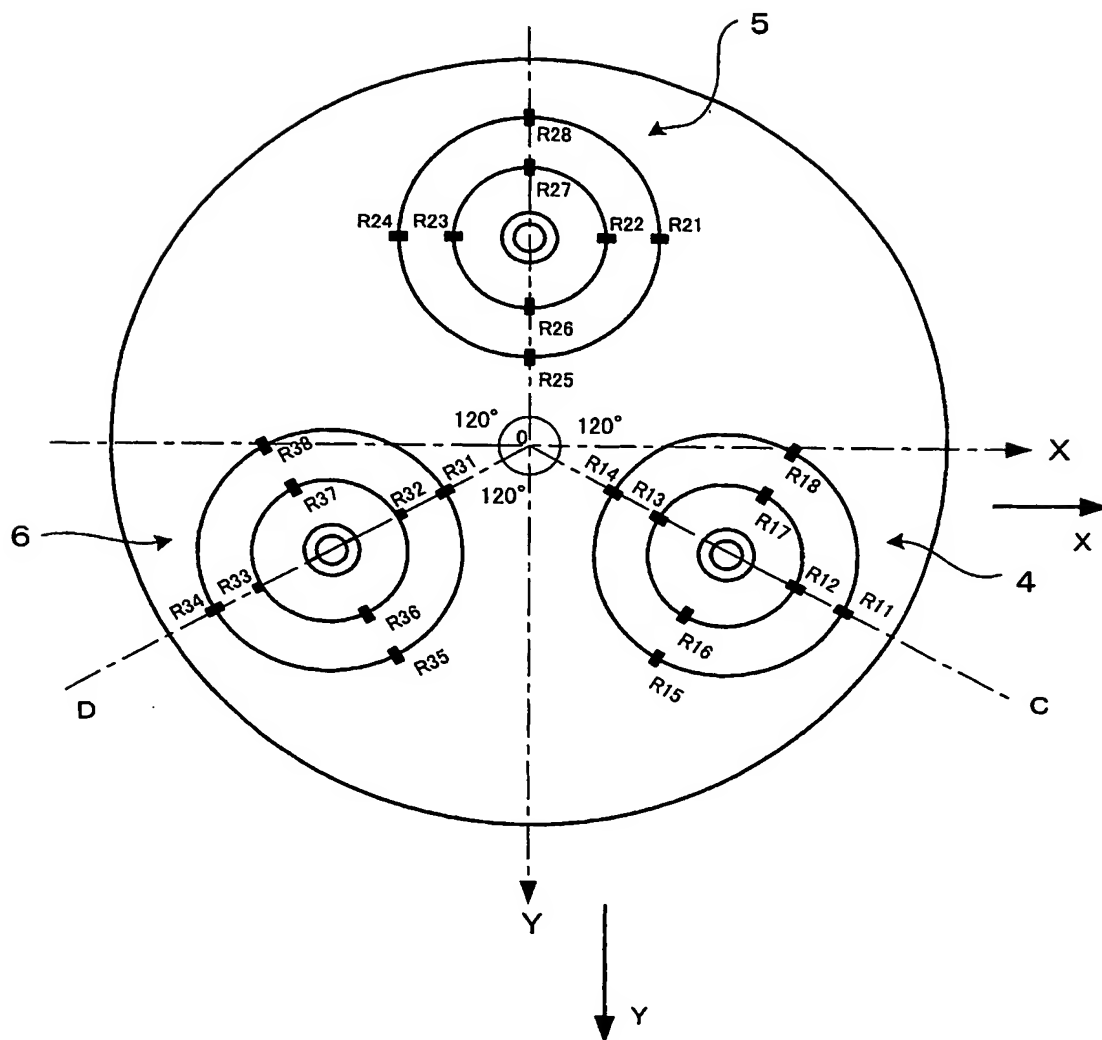
【図 13】



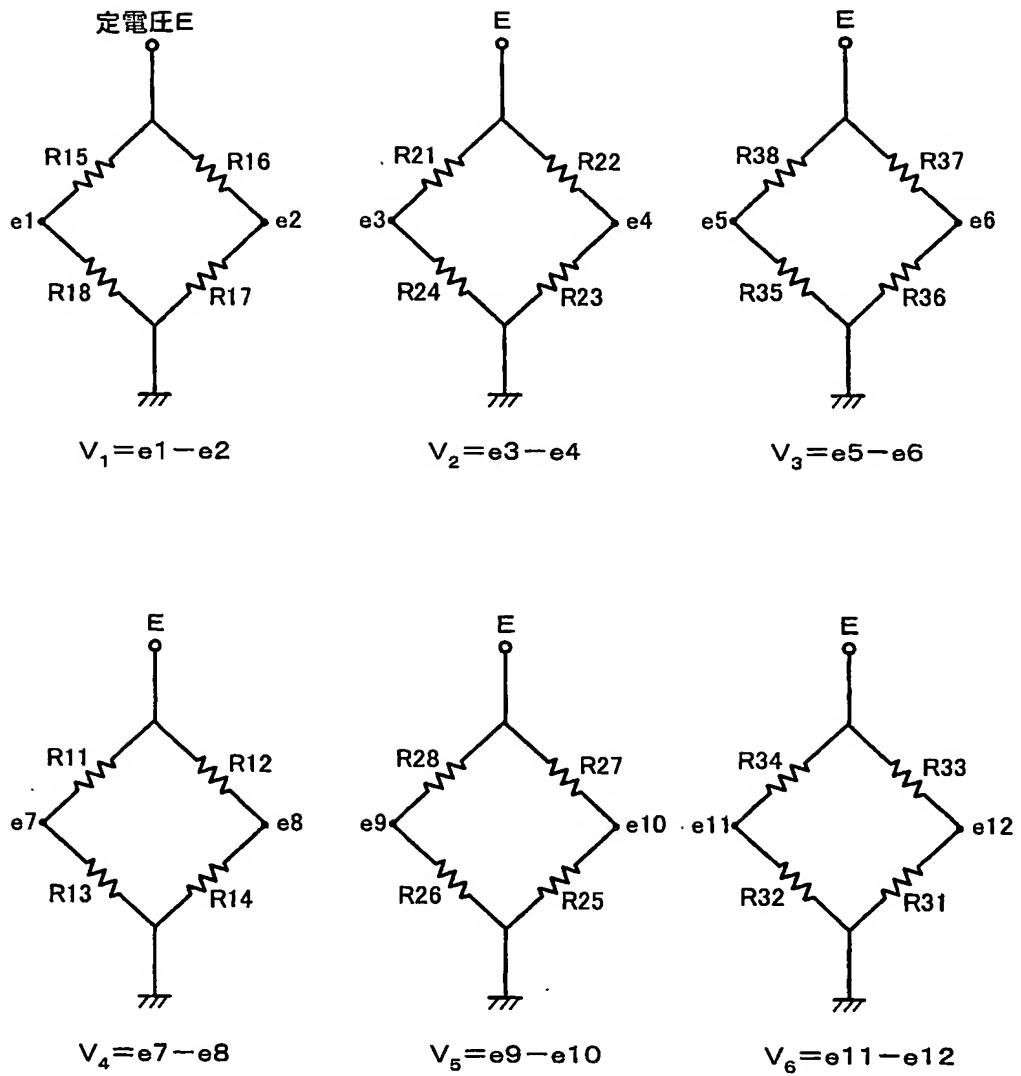
【図 14】



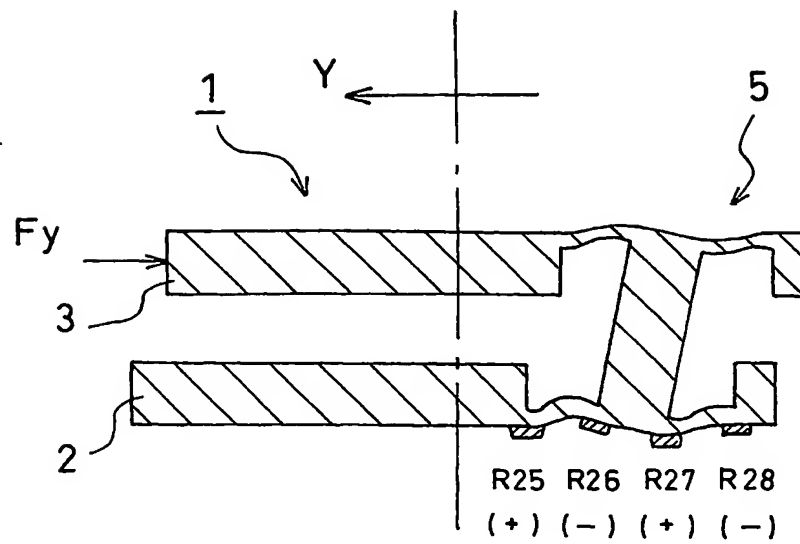
【図 15】



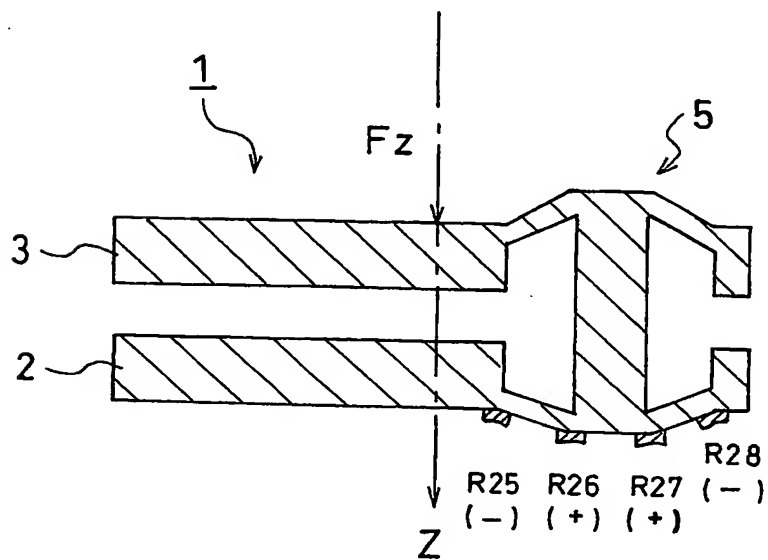
【図 16】



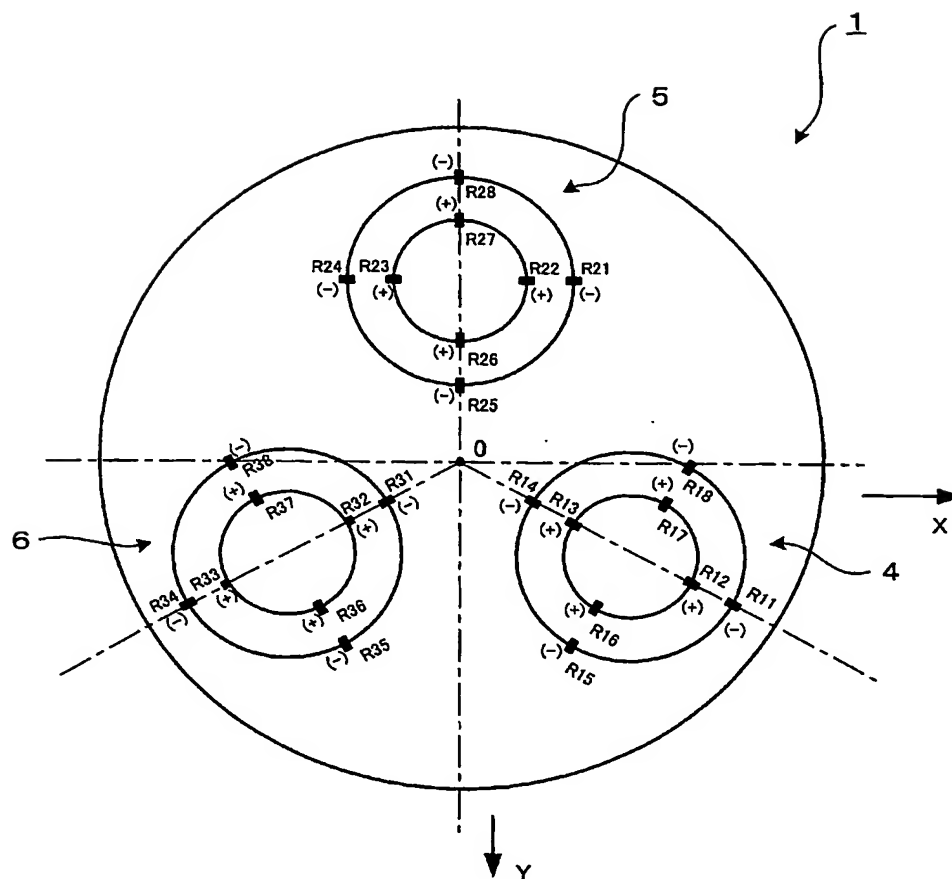
【図 17】



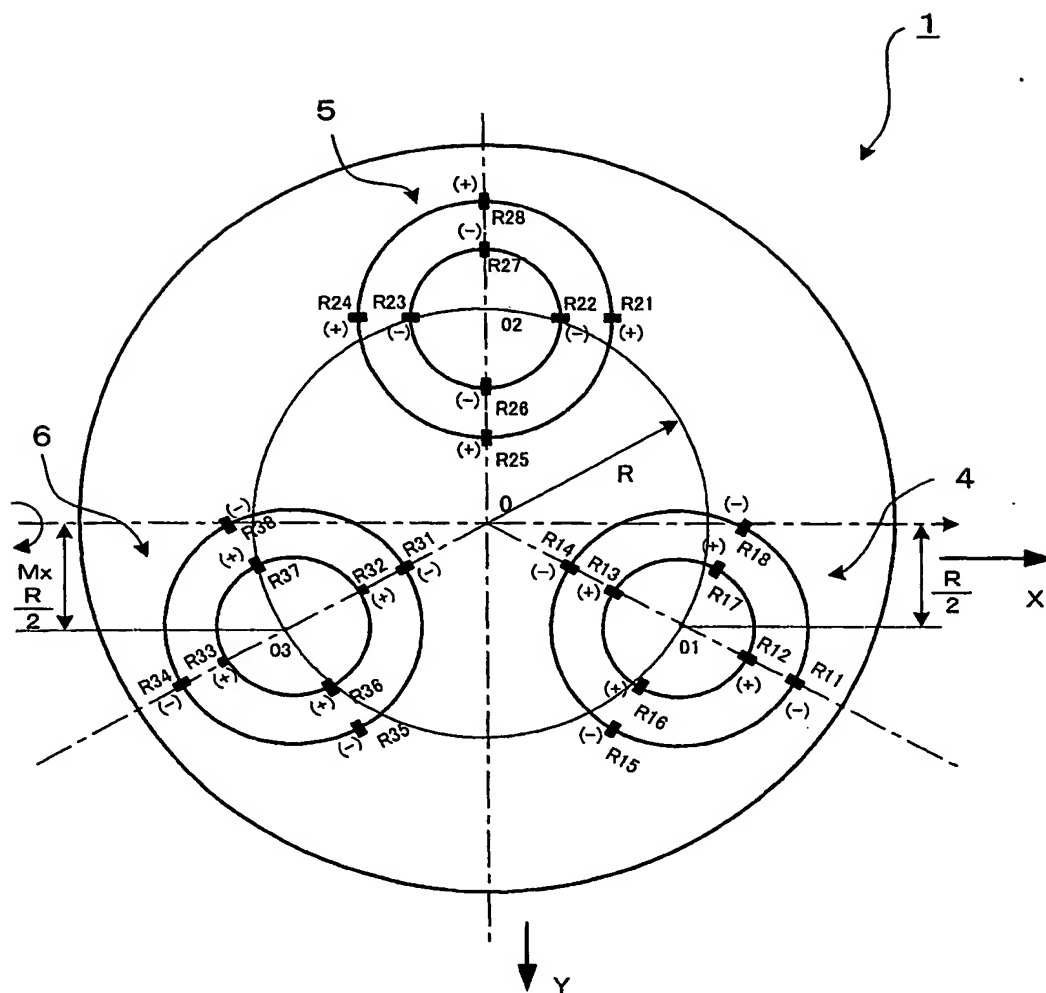
【図 18】



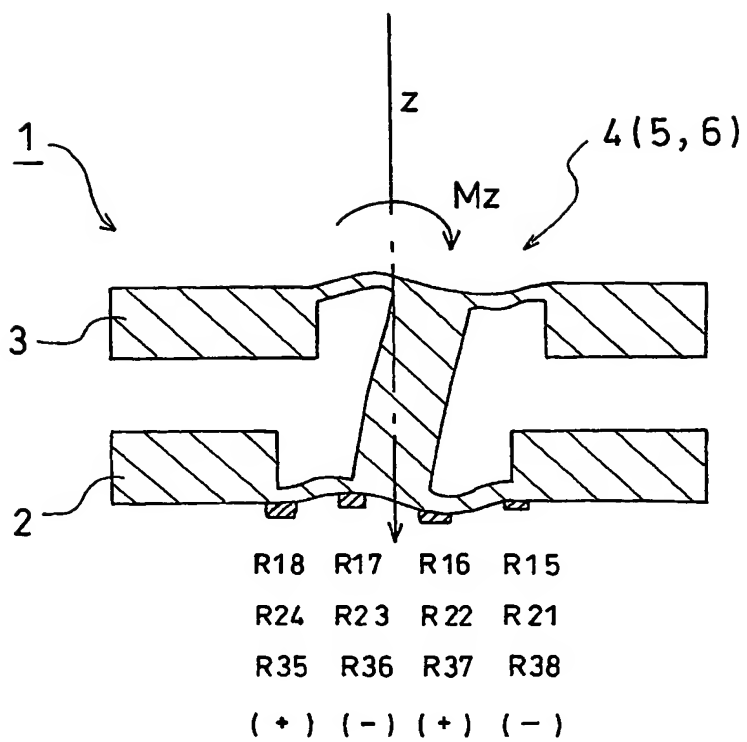
【図 19】



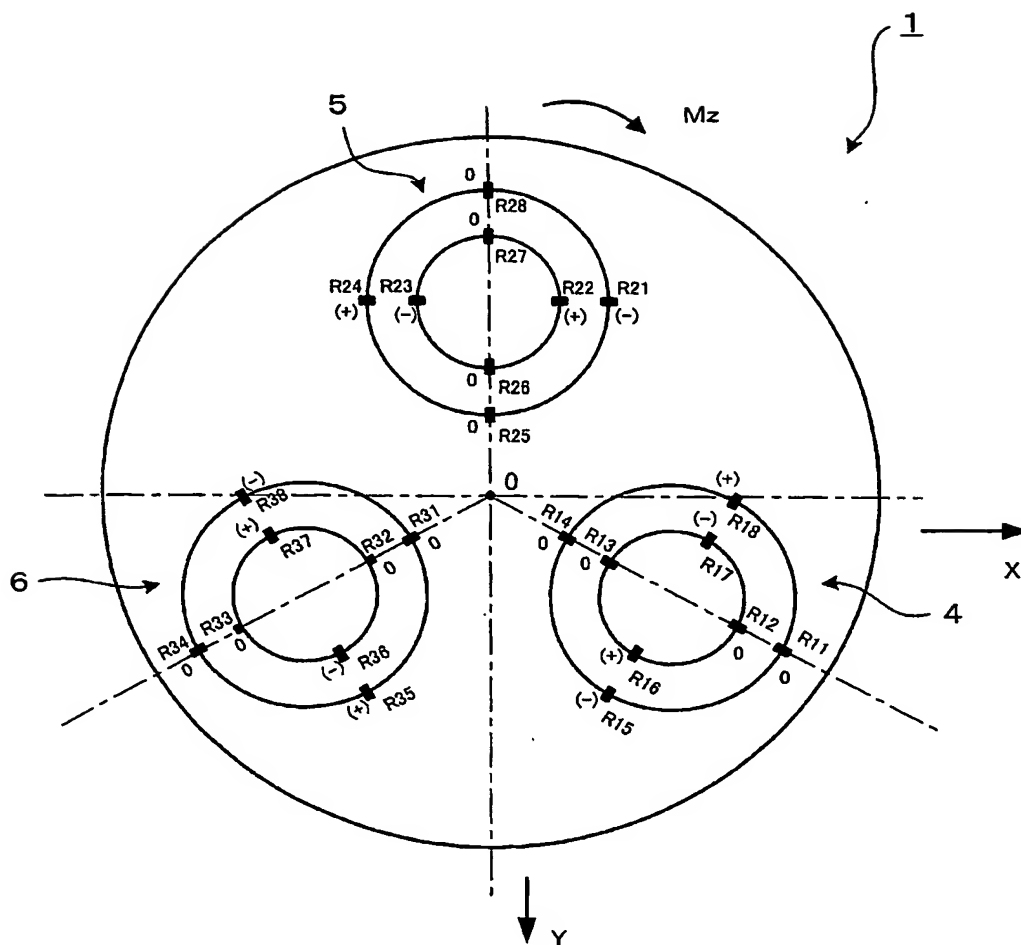
【図 20】



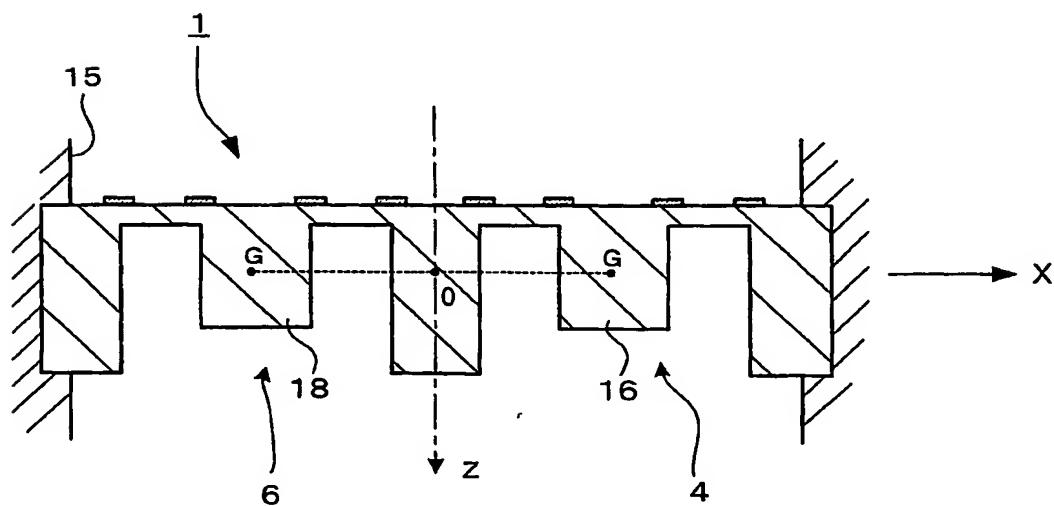
【图 2 1】



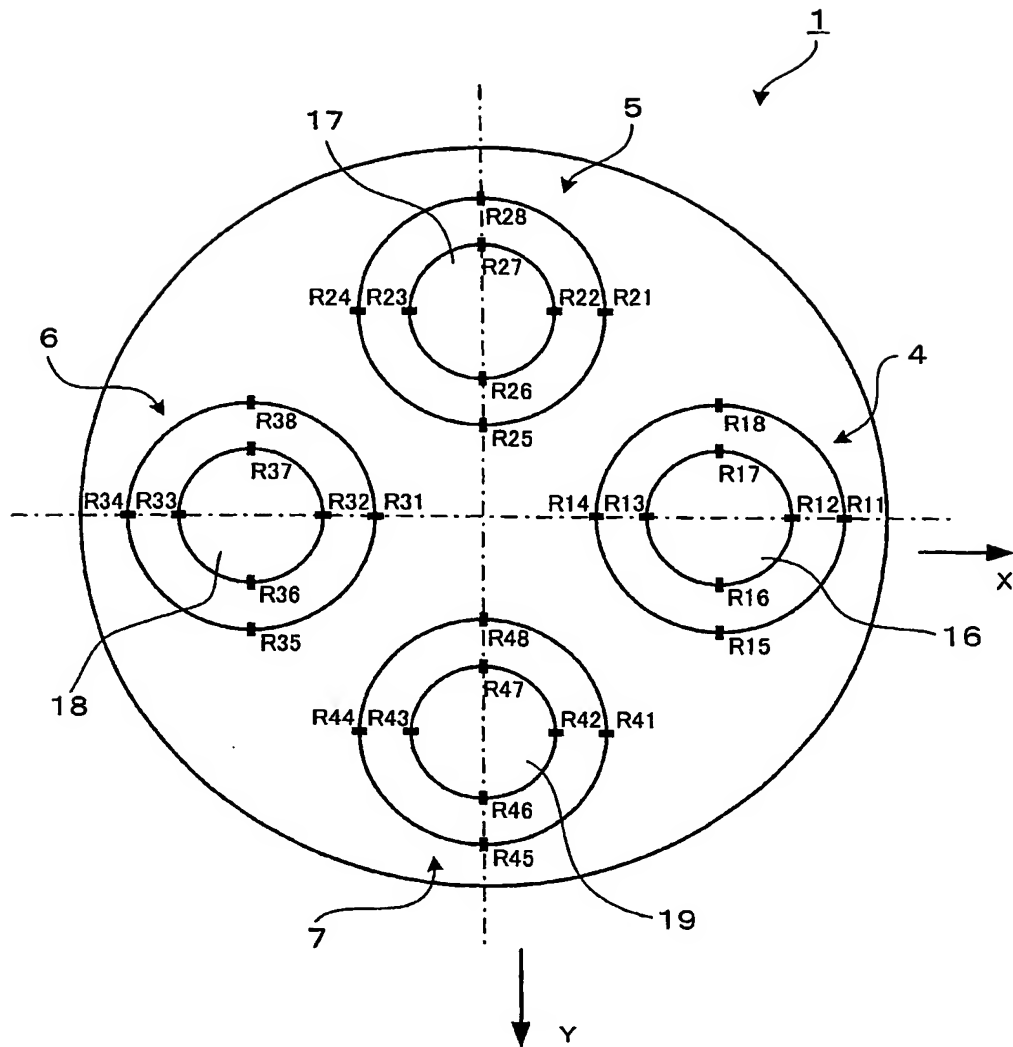
【図 2 2】



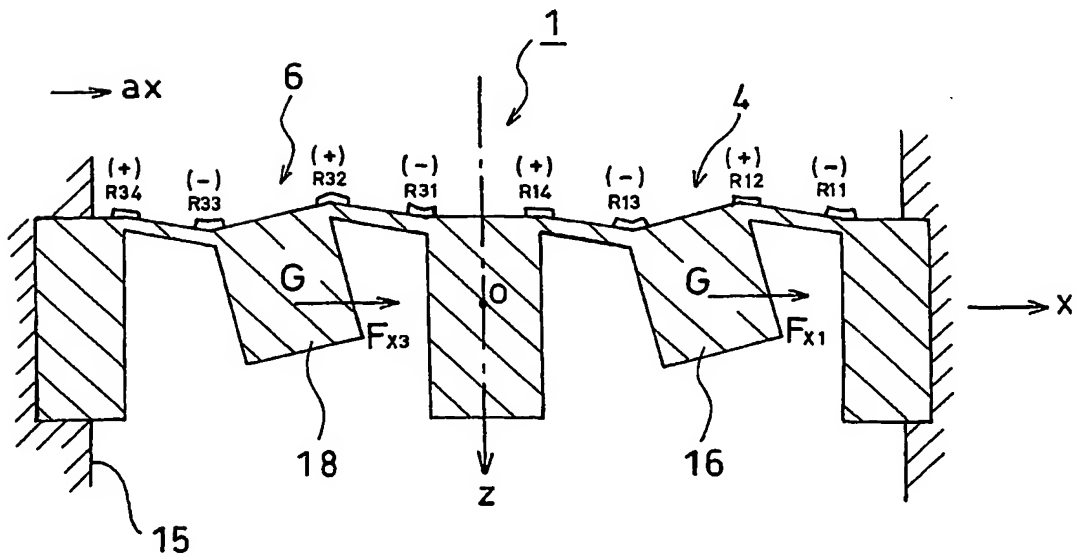
【図 2 3】



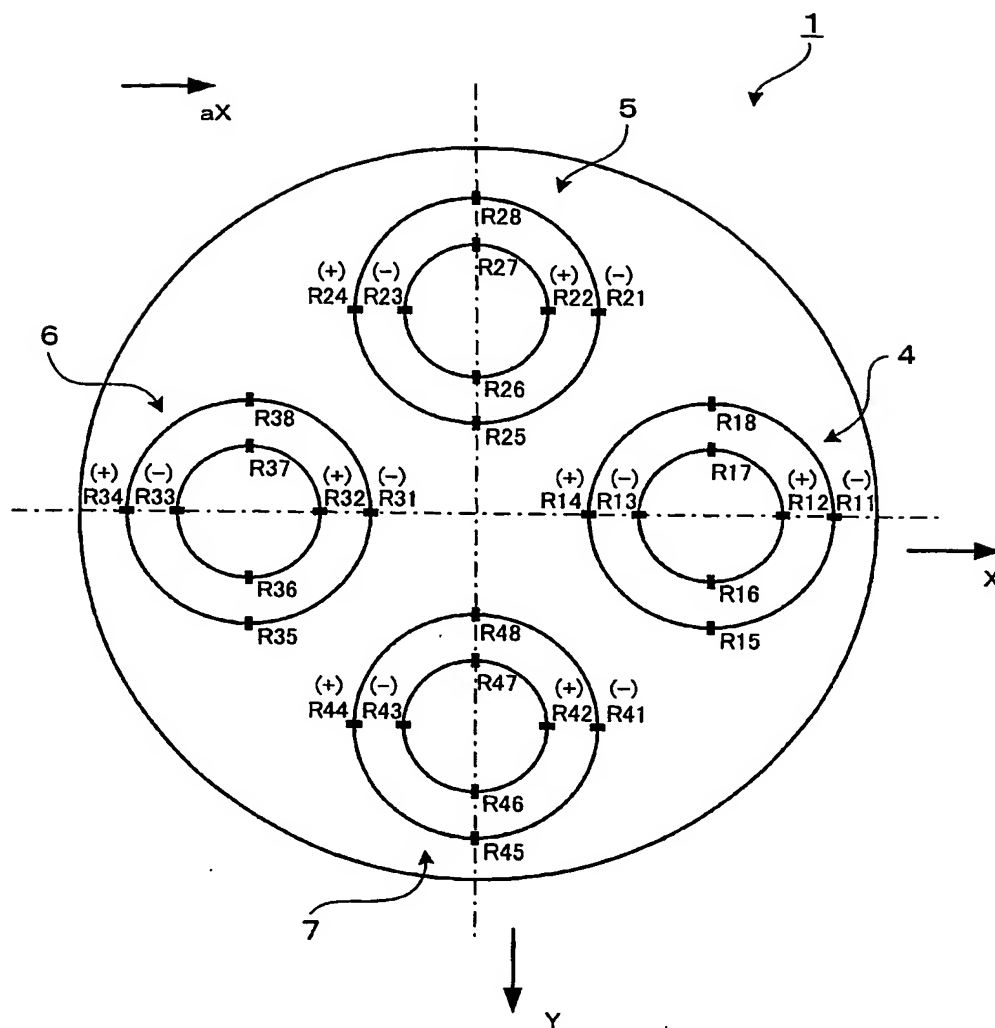
【図 24】



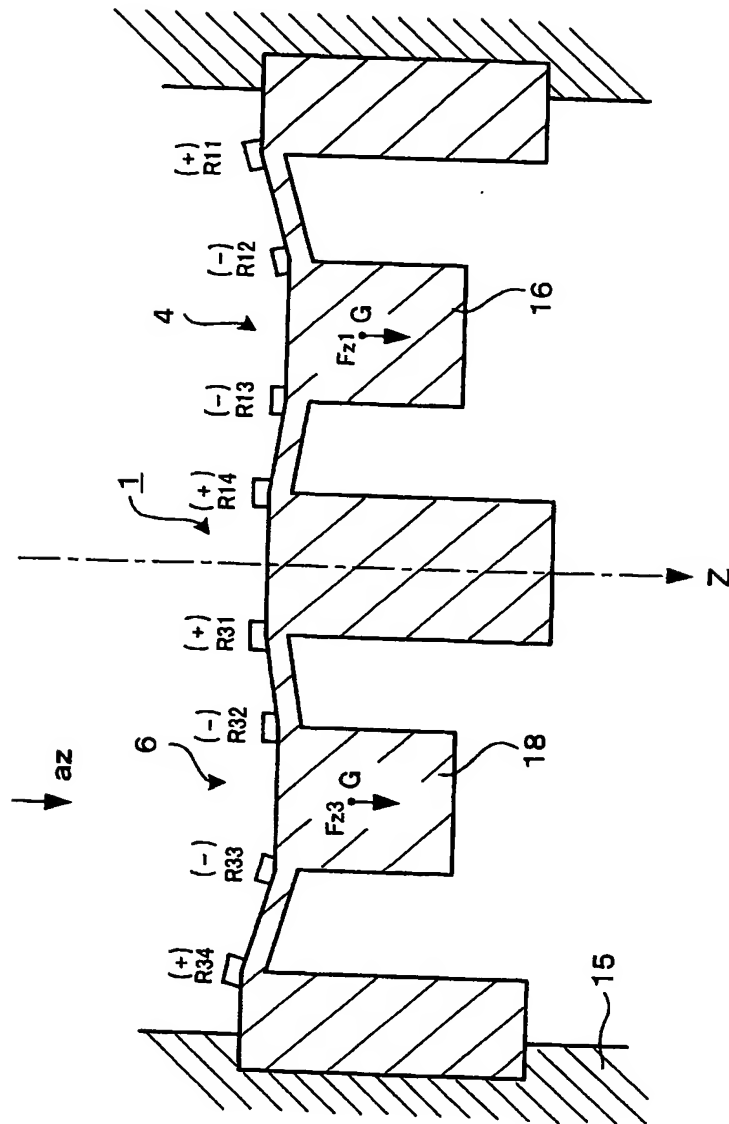
【図 25】



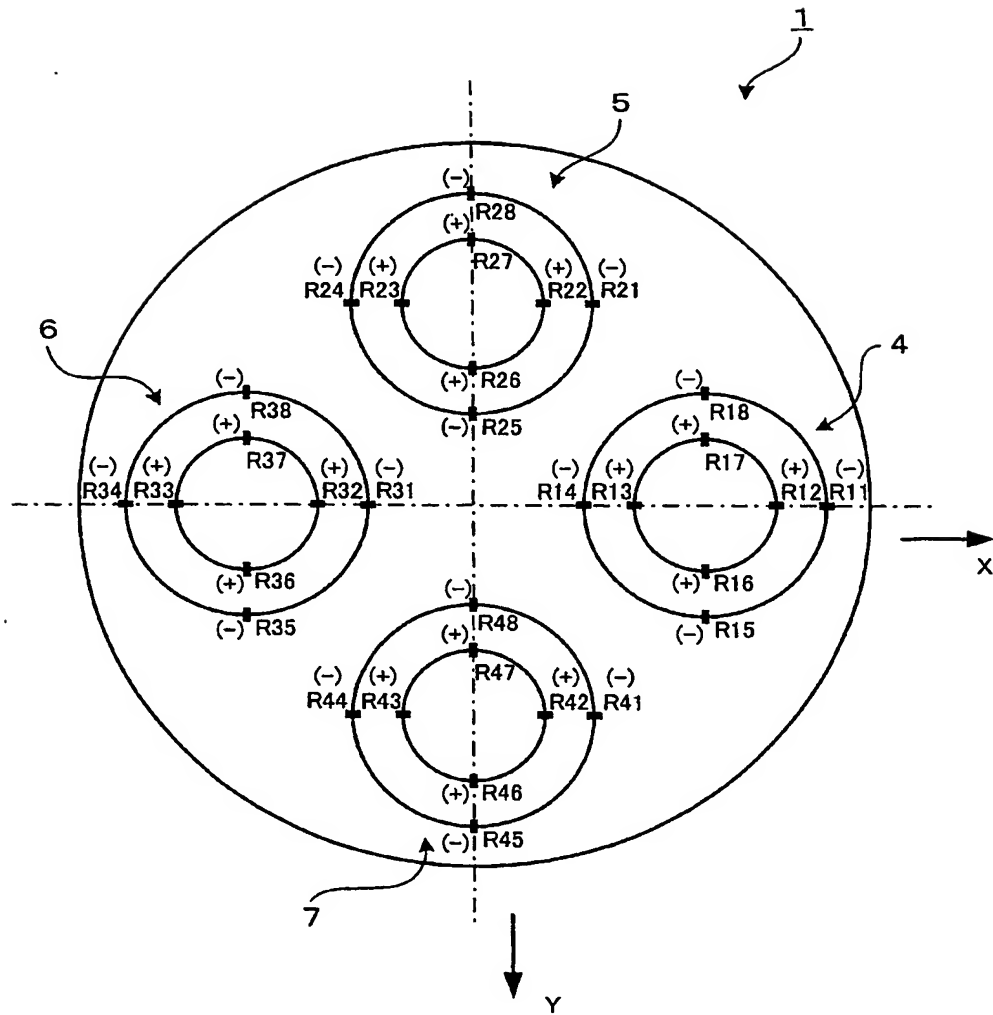
【図 26】



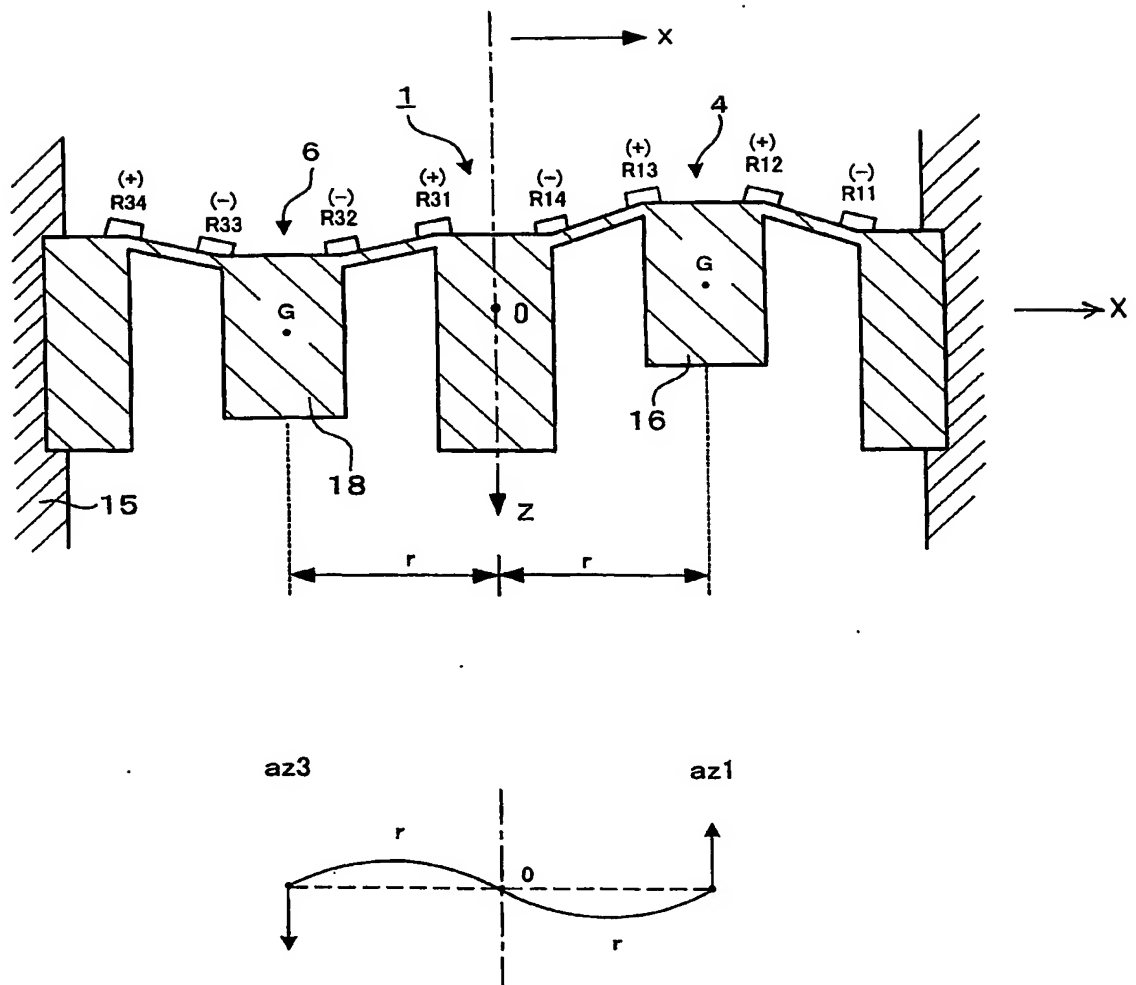
【図 27】



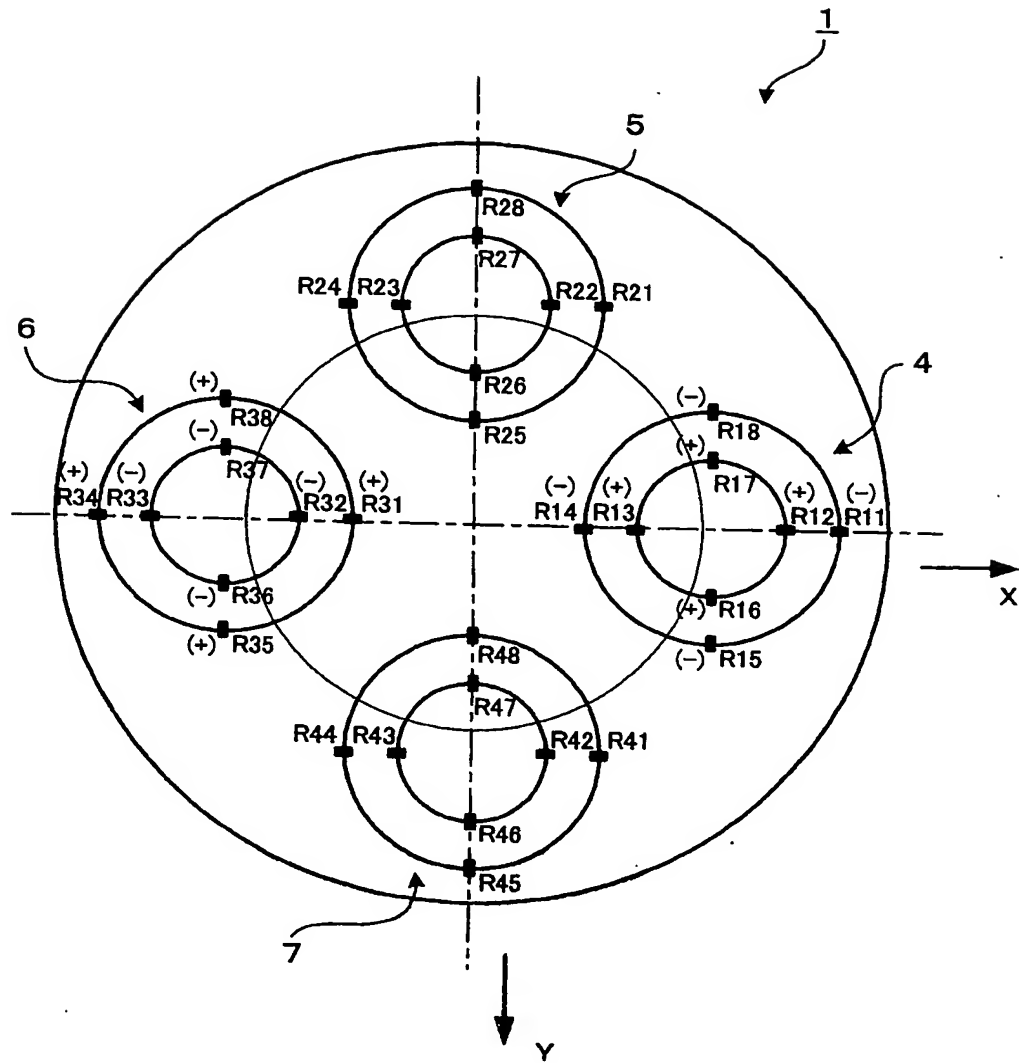
【図 28】



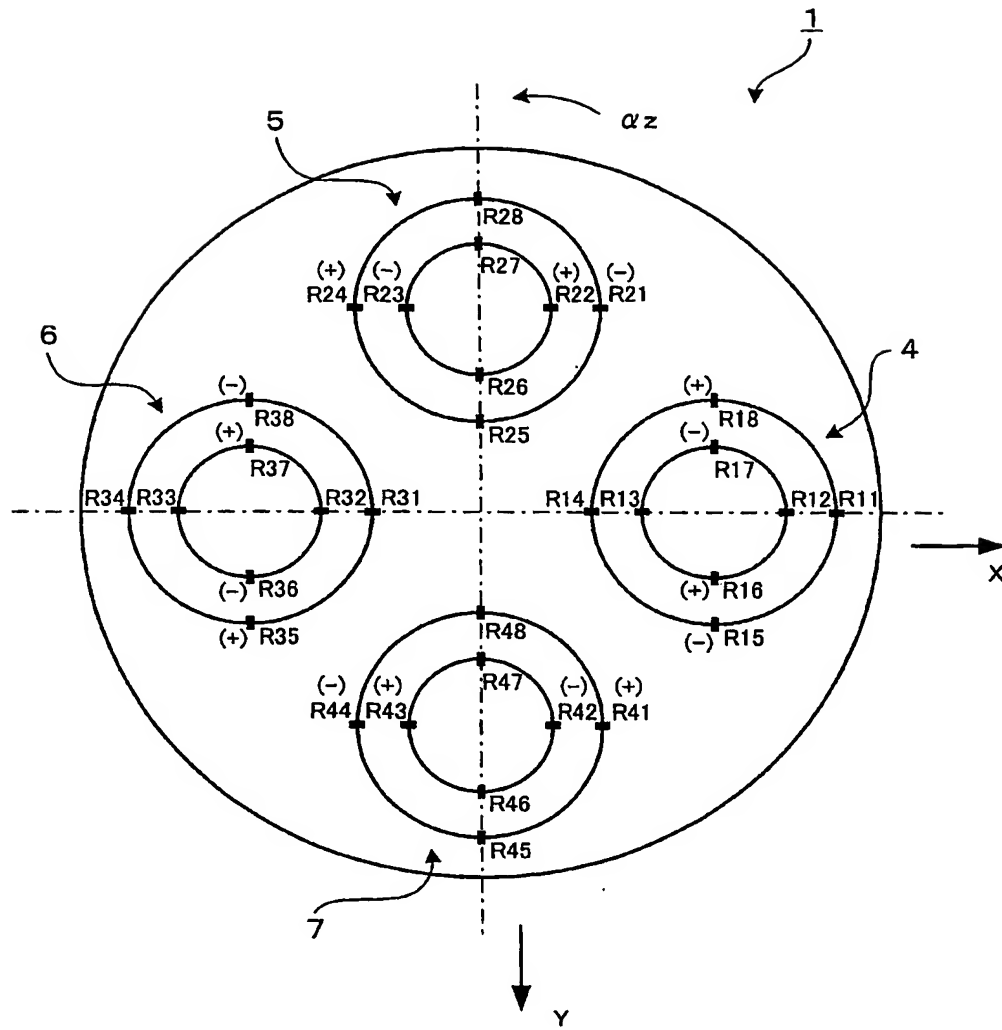
【図 29】



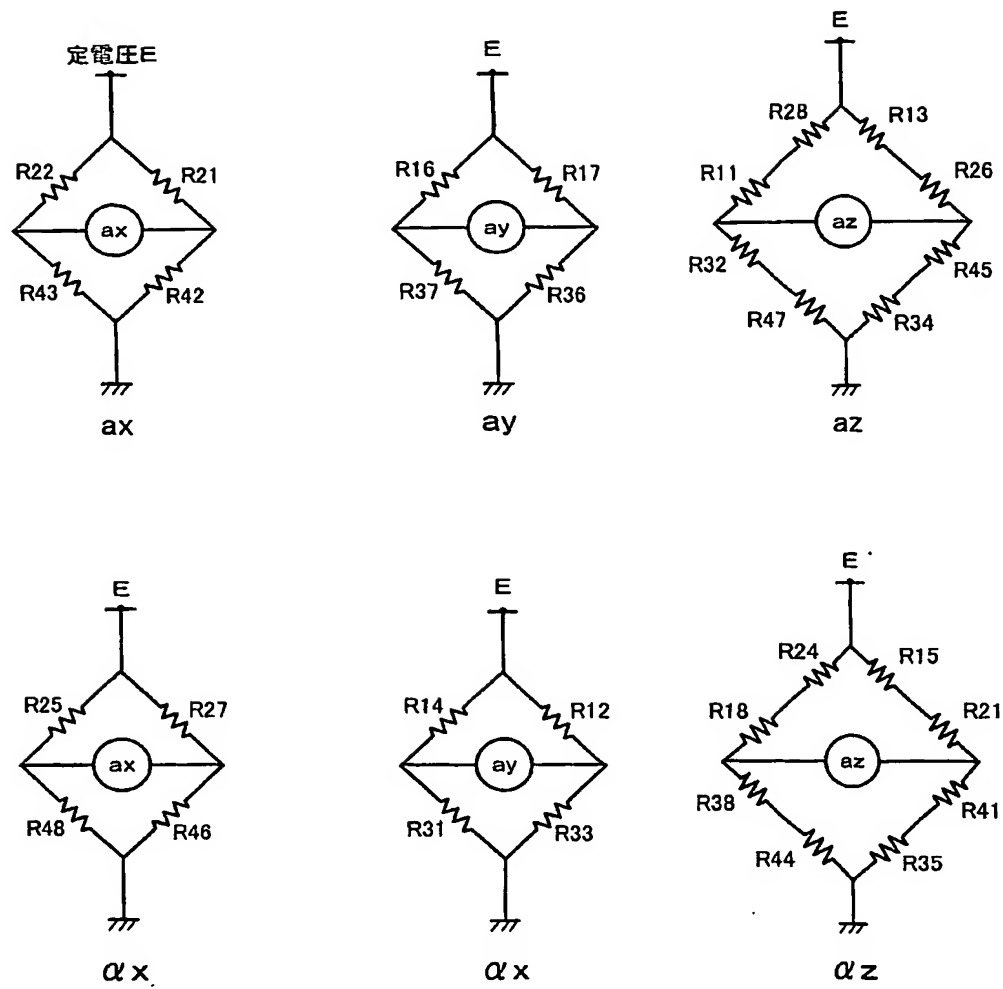
【図 30】



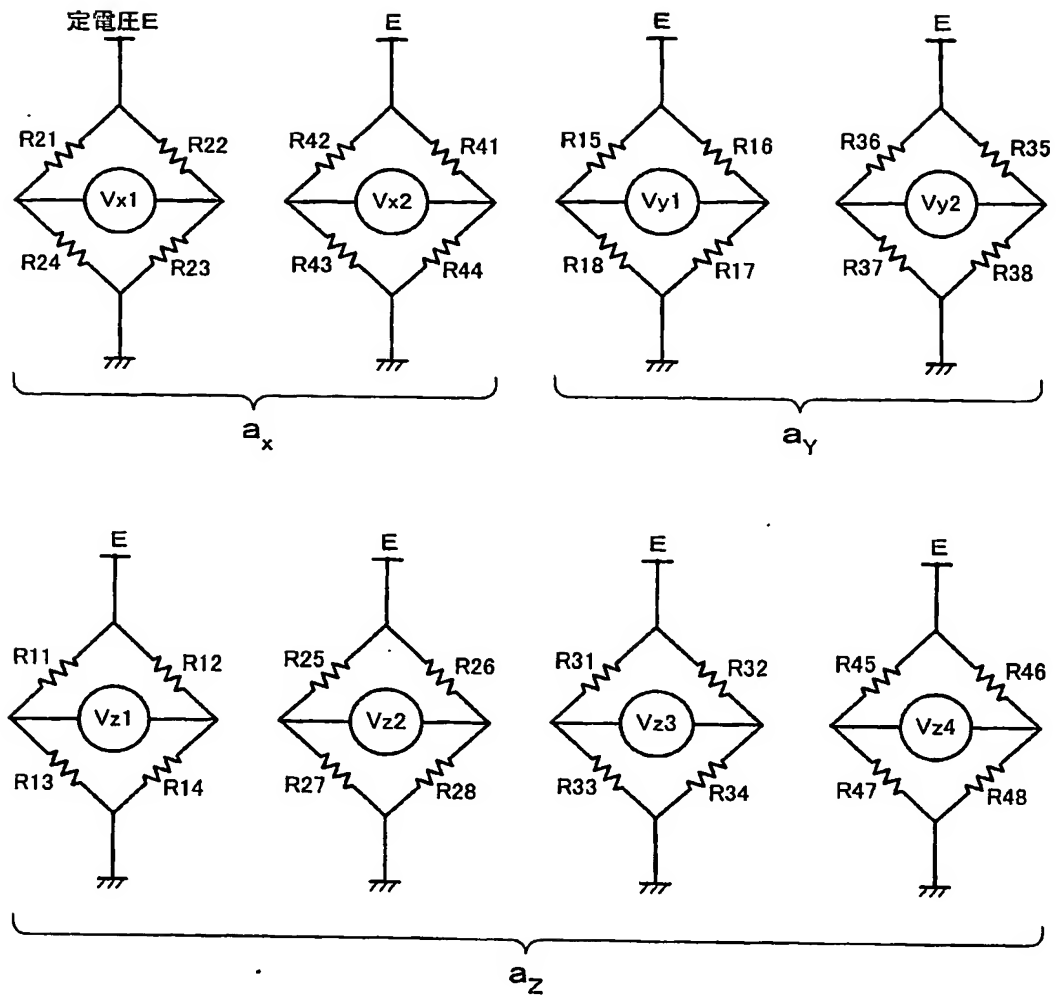
【図 31】



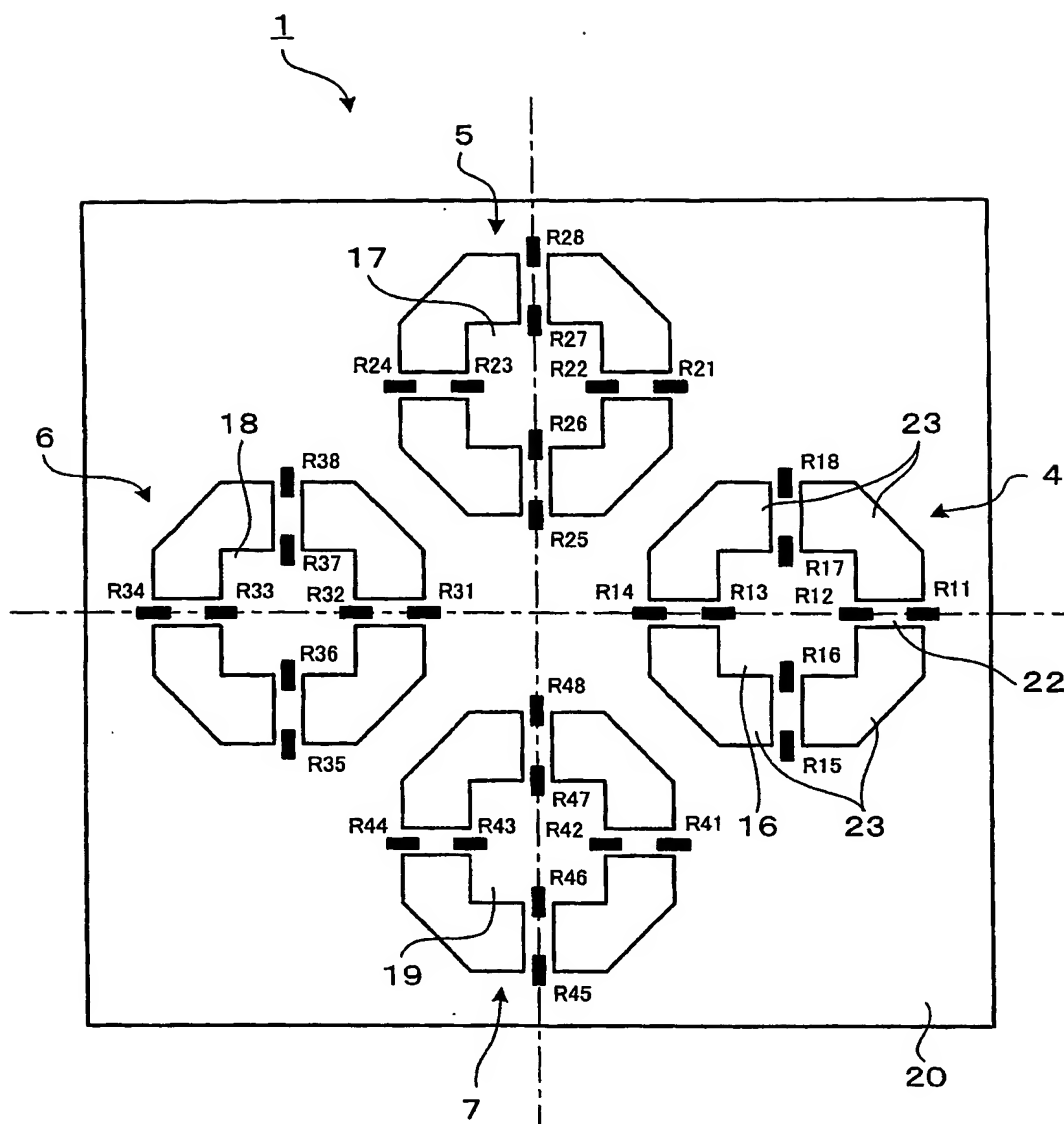
【図 3 2】



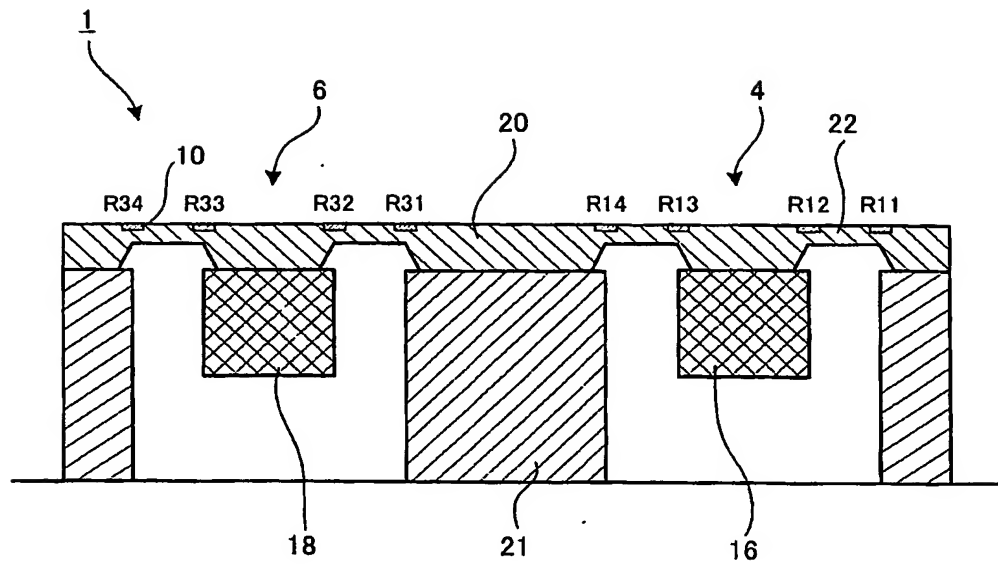
【図 3 3】



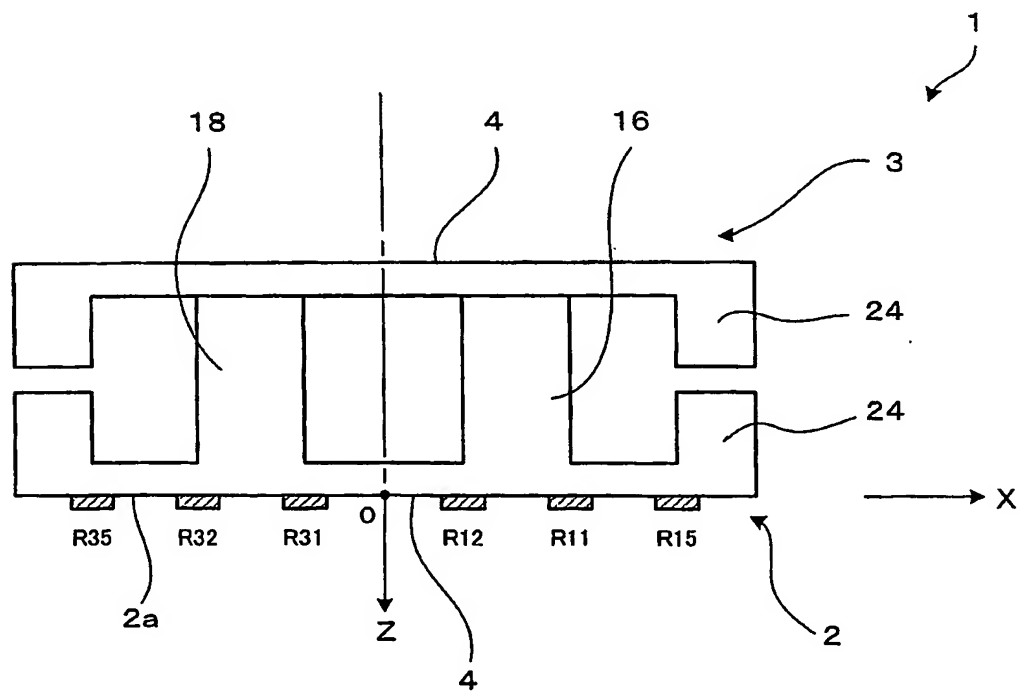
【図 34】



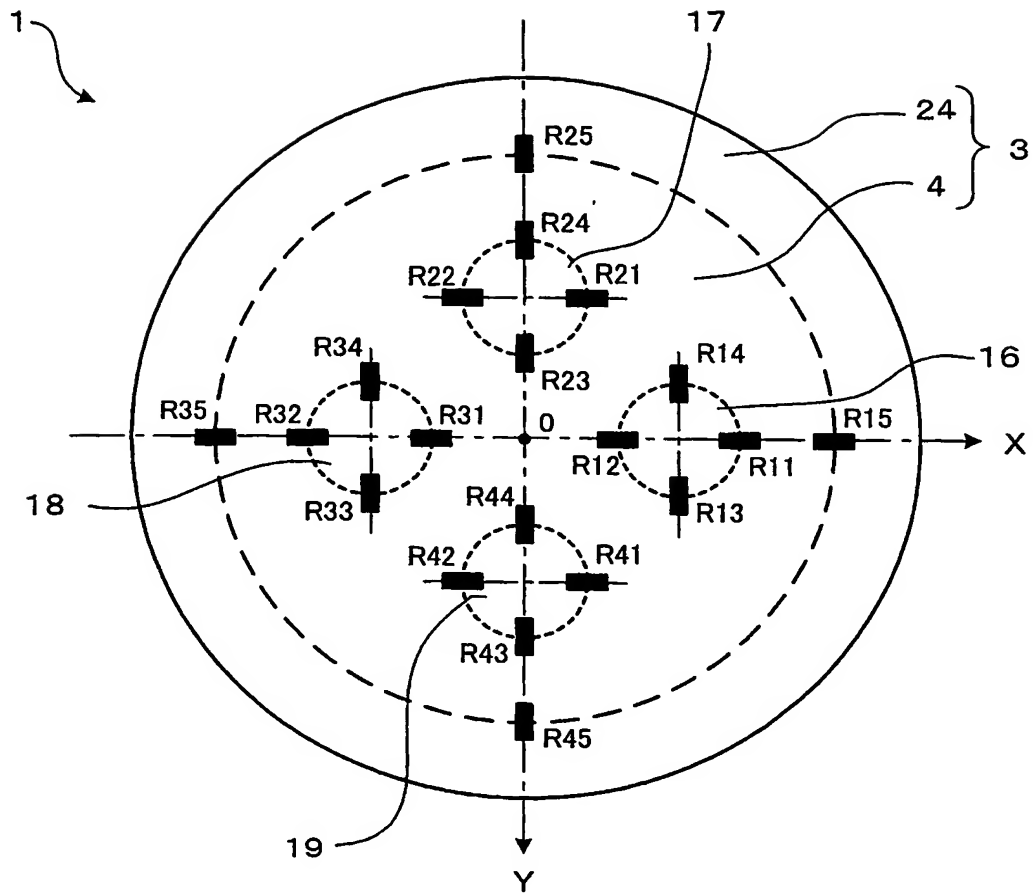
【図 3 5】



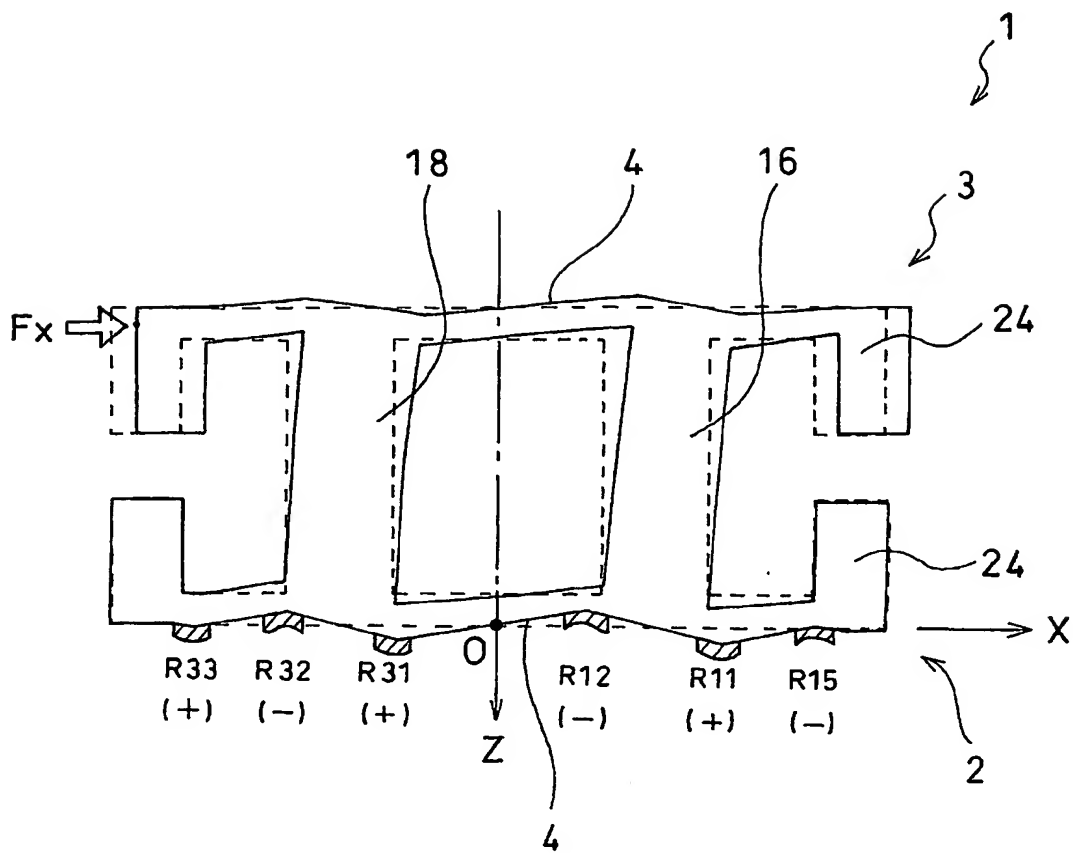
【図 3 6】



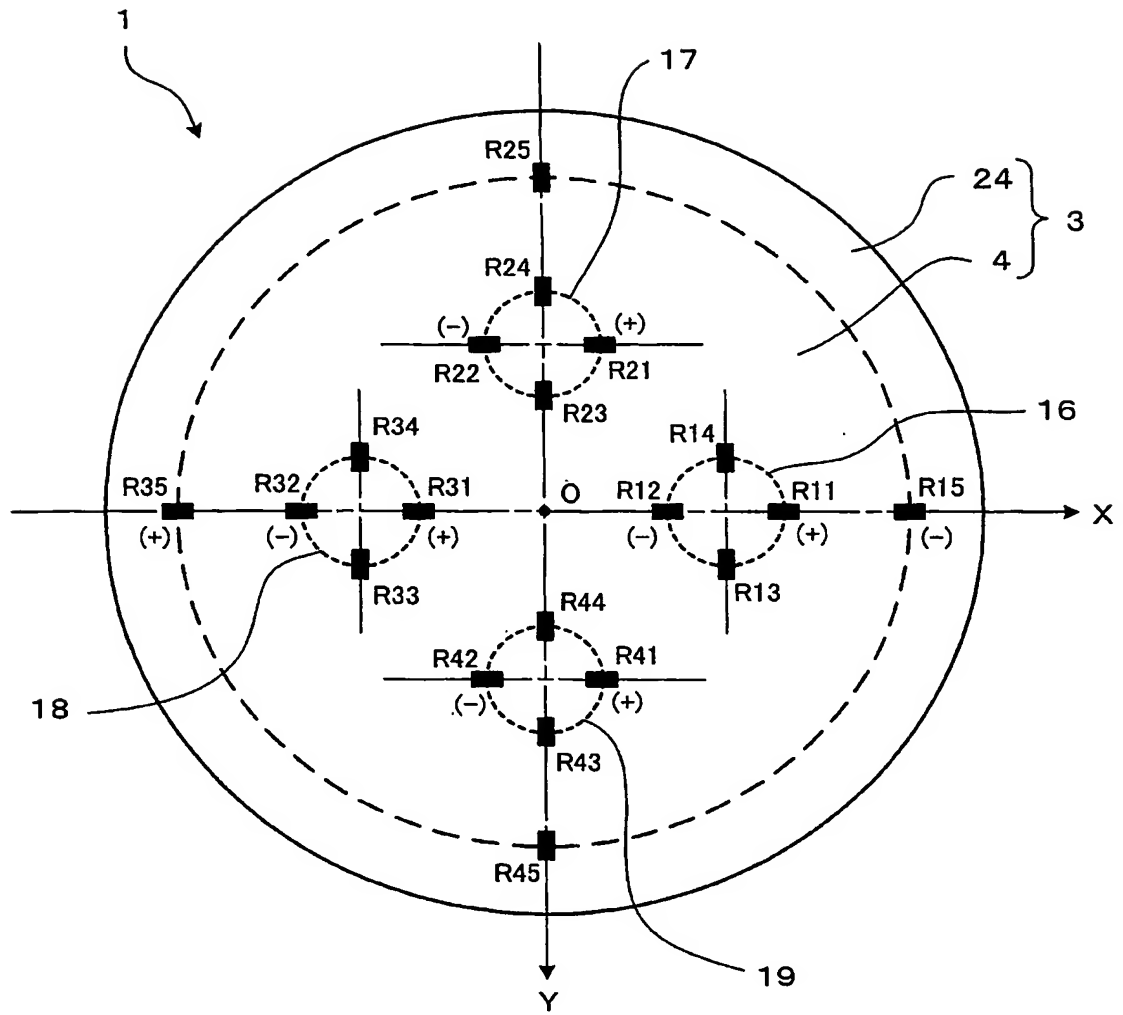
【図 37】



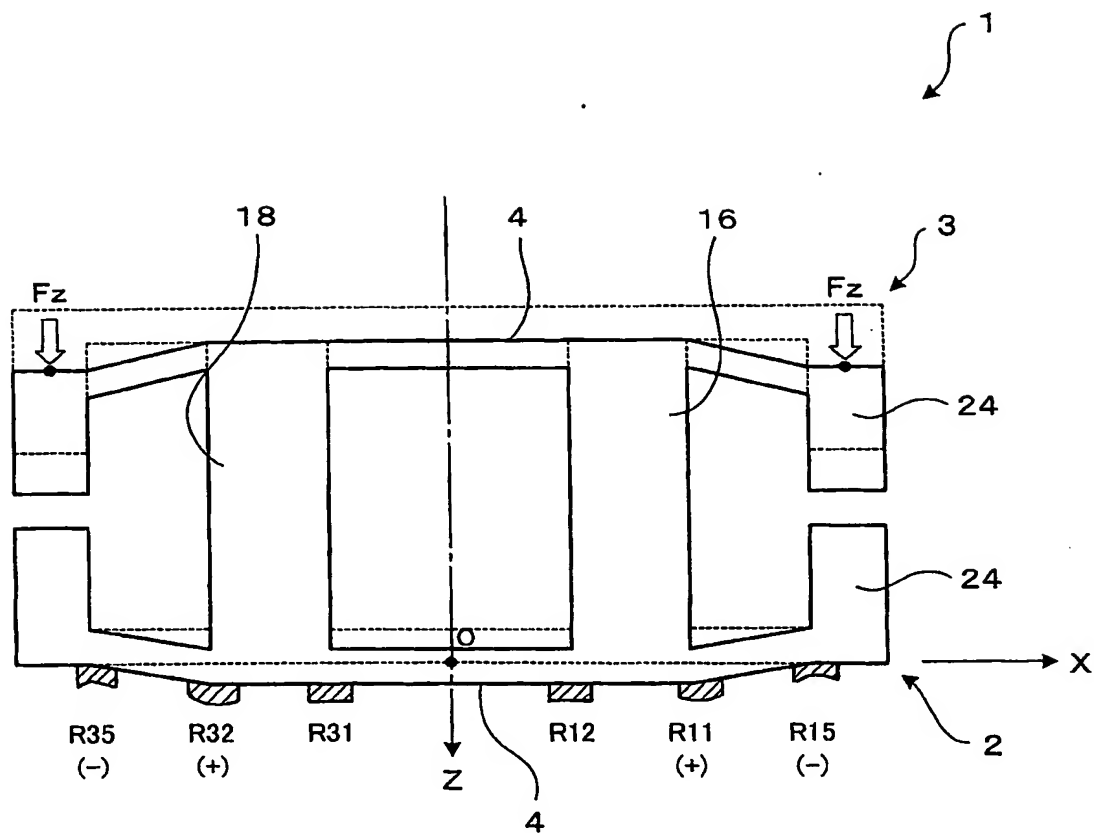
【図 38】



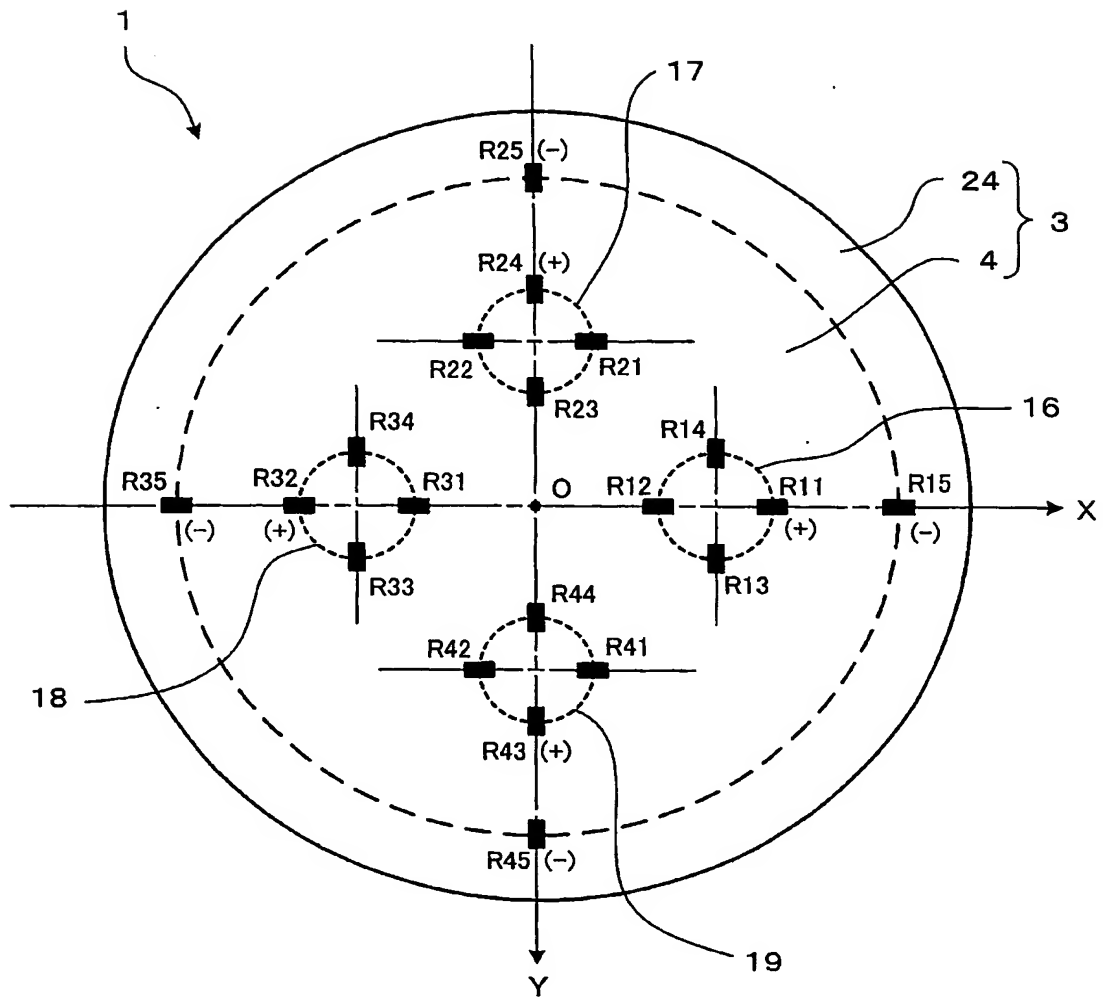
【図 39】



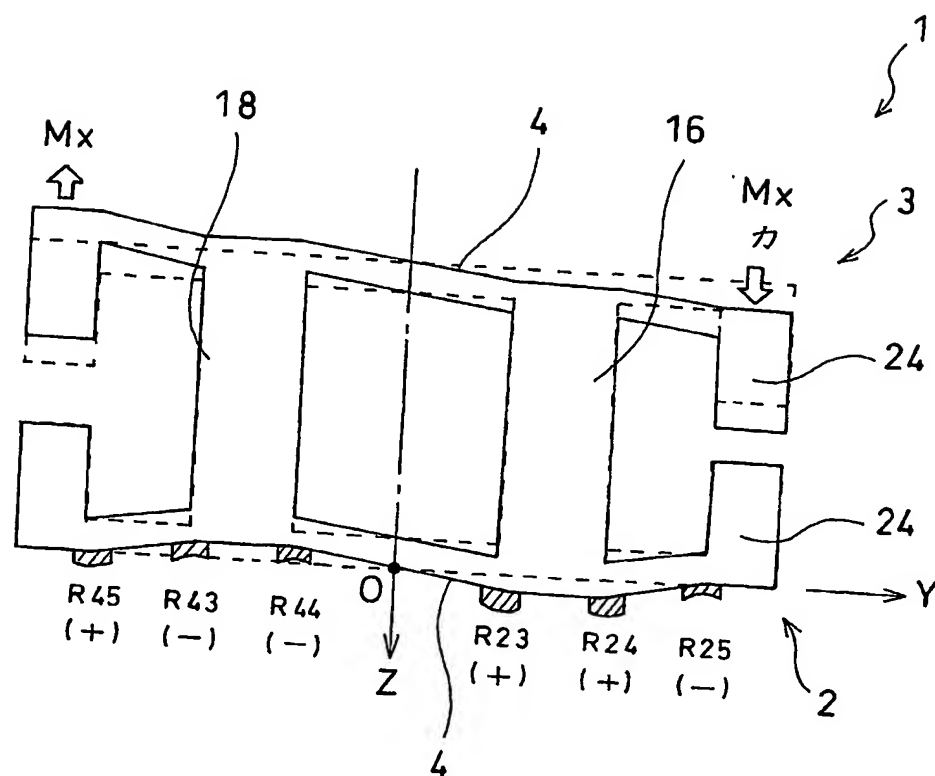
【図 40】



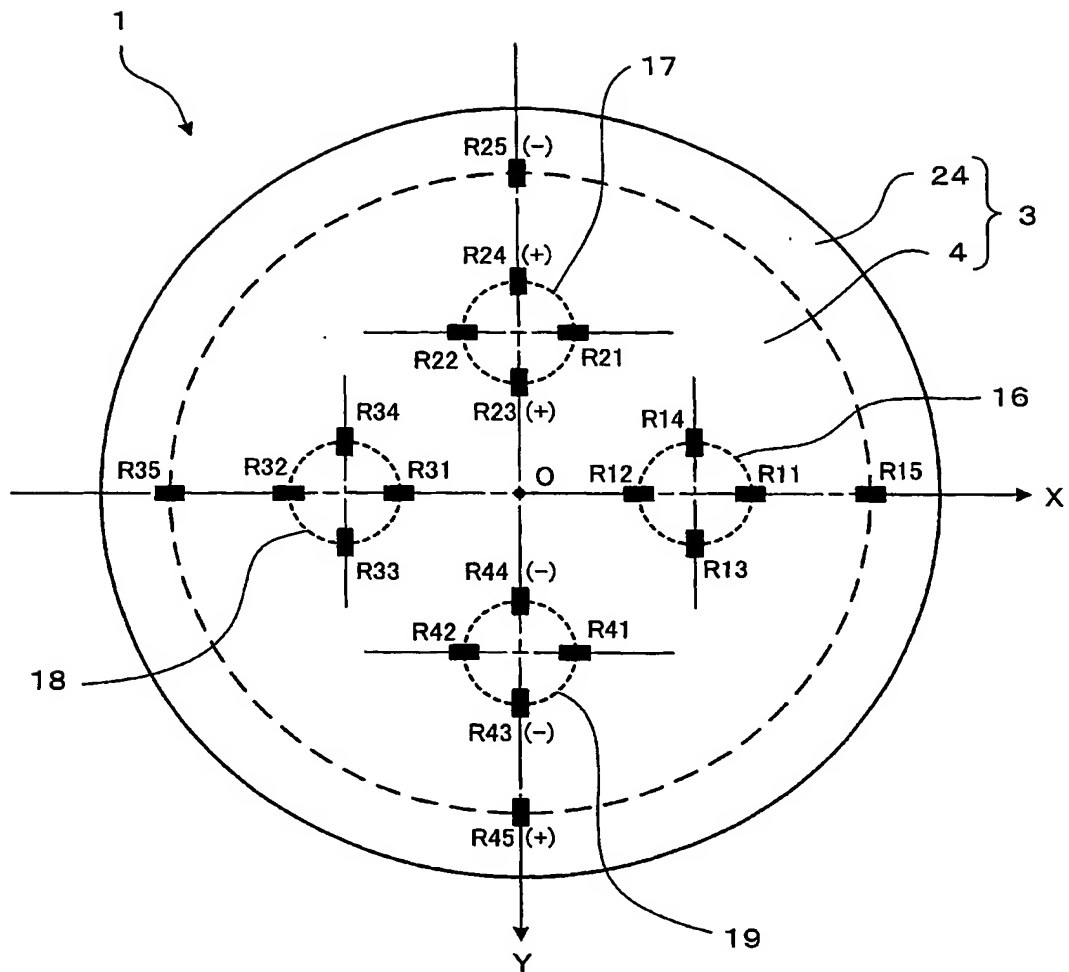
【図 41】



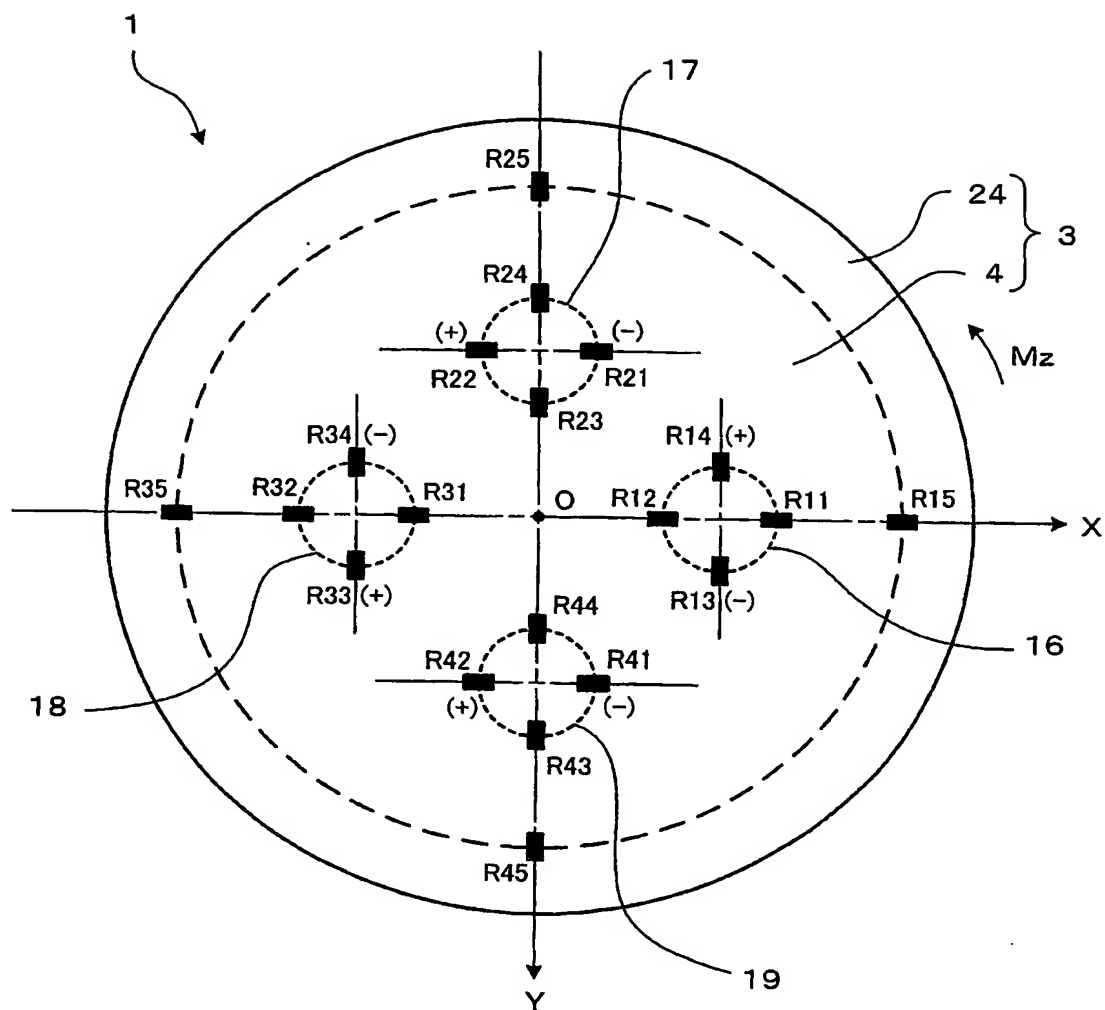
【図 42】



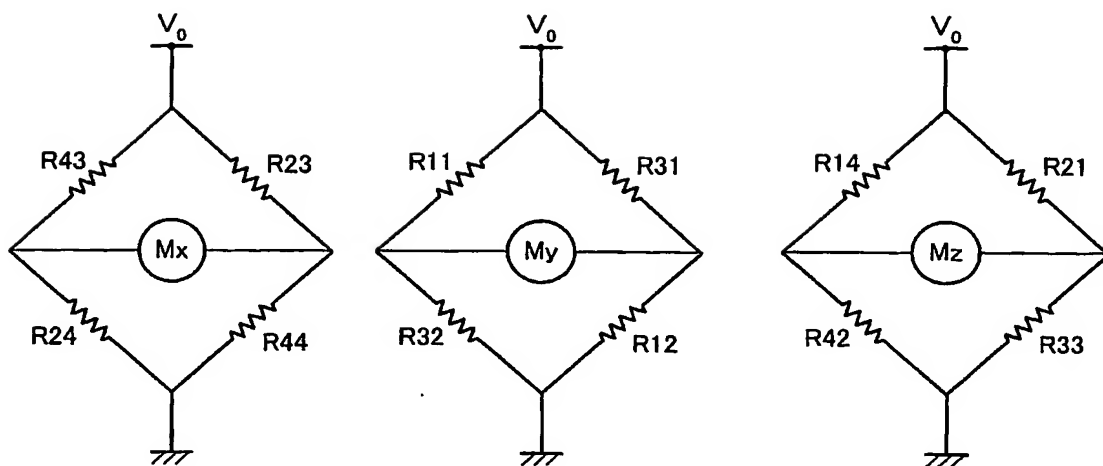
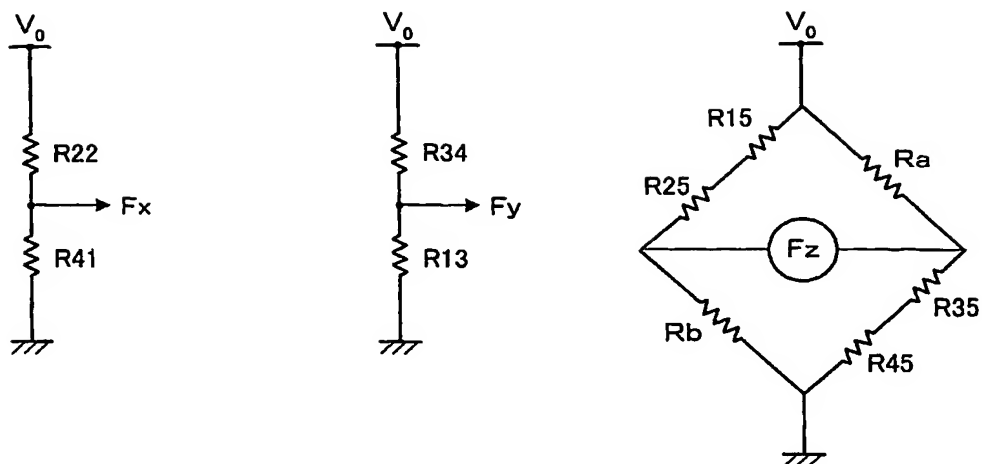
【図 43】



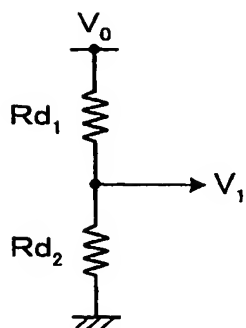
【図 44】



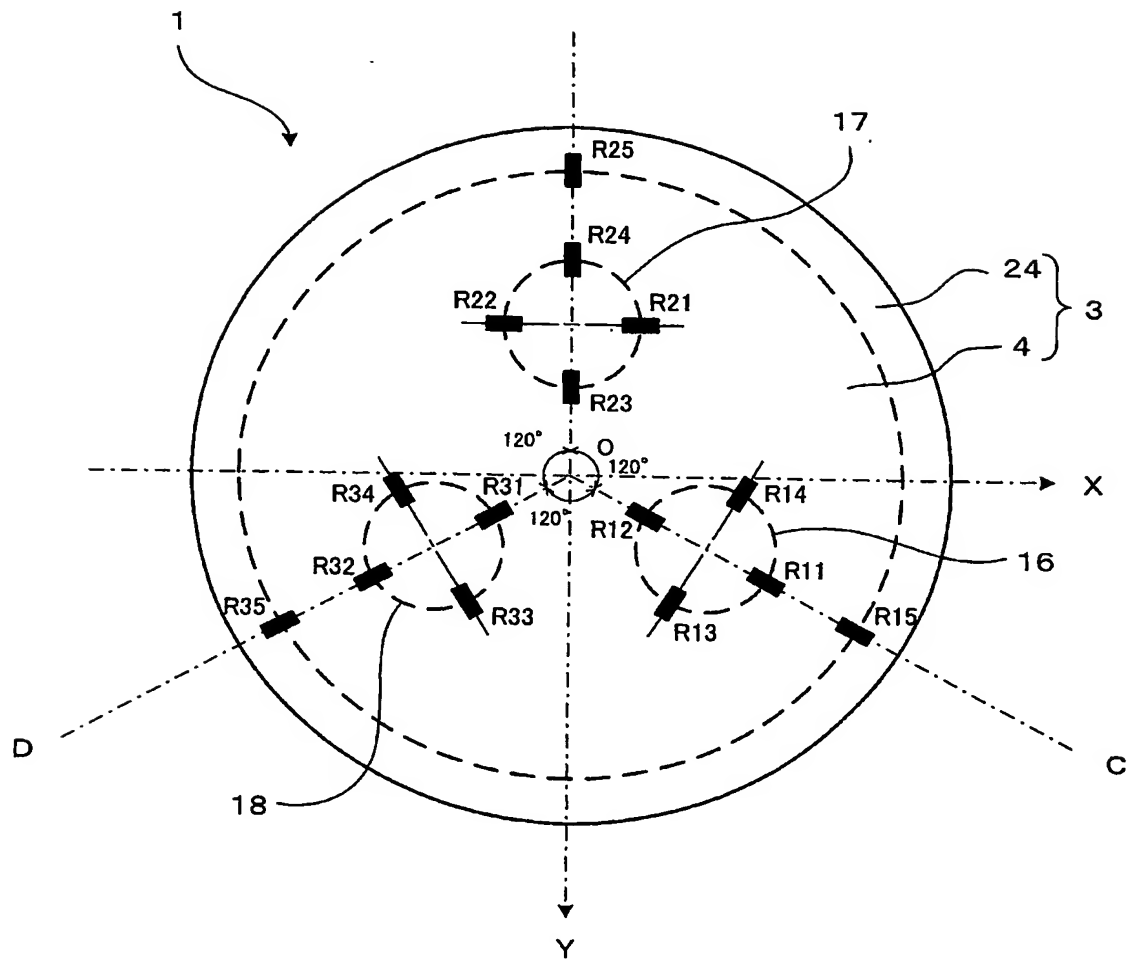
【図 4 5】



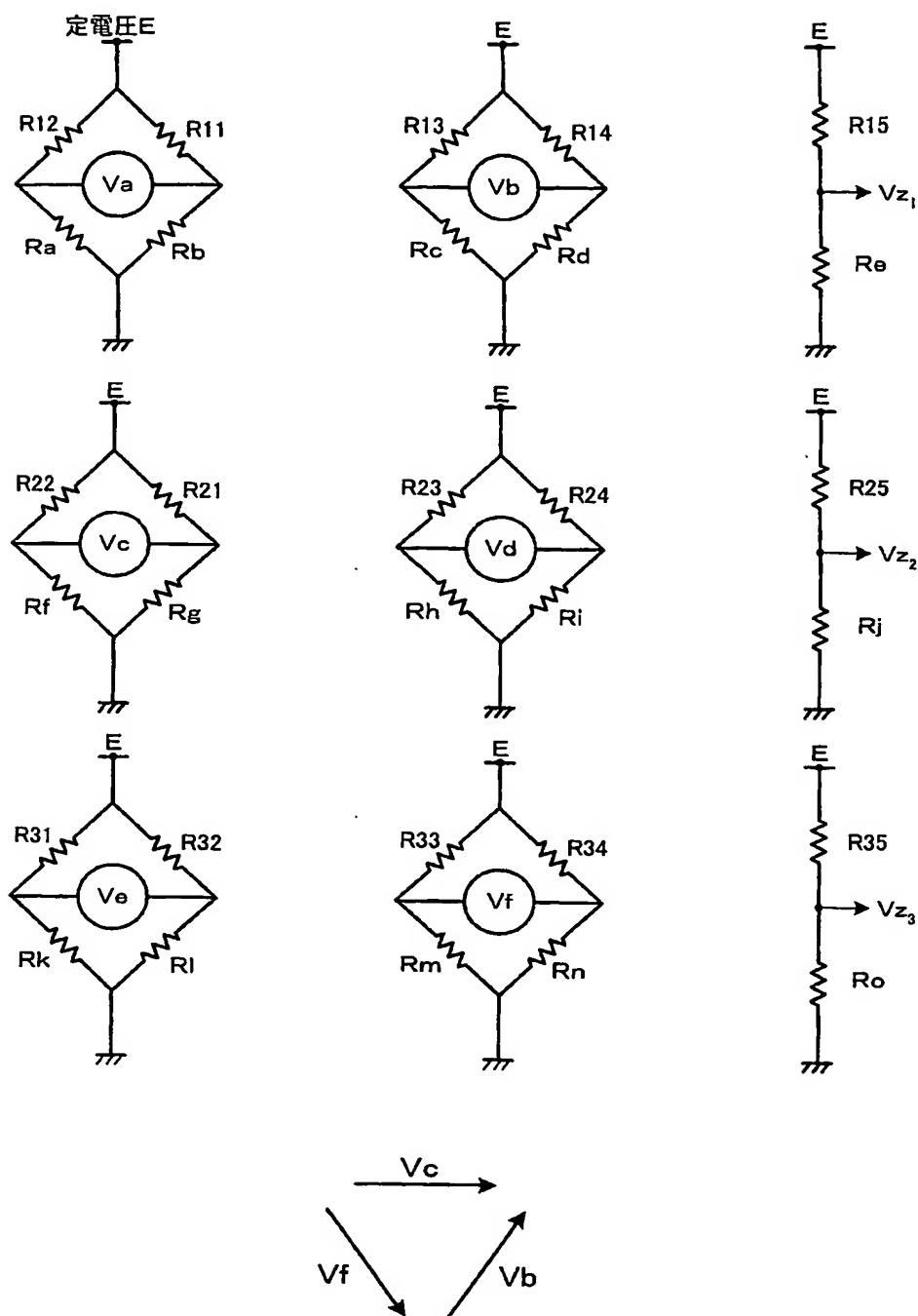
【図 4 6】



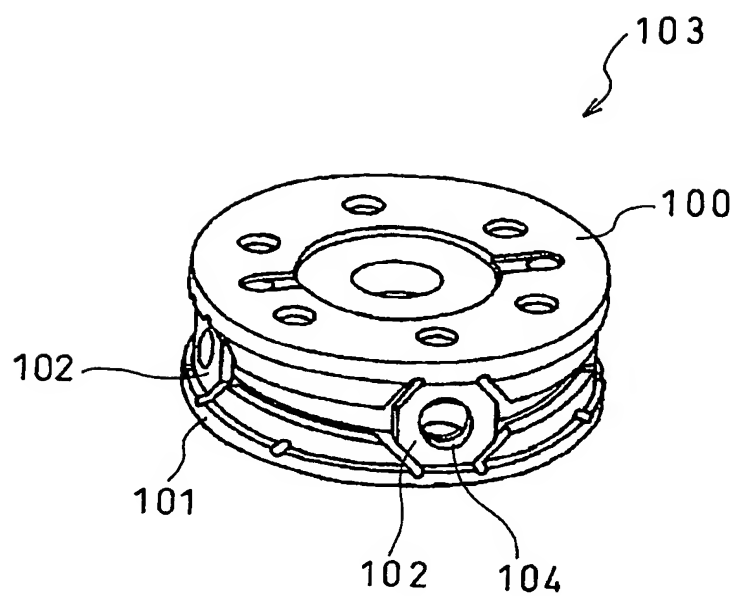
【図 47】



【図 48】



【図 49】



【書類名】要約書

【要約】

【課題】 センサ起歪体を簡易な形状にできると共に歪みゲージの取り付け作業を簡単にする。

【解決手段】 外部から加わった多軸の力、モーメント、加速度、角加速度のいずれか 1 つまたは複数を計測する多軸センサ 1 において、一平面上に配置された複数の歪みゲージ R 1 1 ~ R 4 8 を備える。これにより、歪みゲージ R 1 1 ~ R 4 8 の取り付け作業の時間を短縮することができるので、量産性を良くしてコストを下げることができる。

【選択図】 図 1

特願 2003-422687

出願人履歴情報

識別番号

[000111085]

1. 変更年月日

2002年 2月21日

[変更理由]

住所変更

住所

大阪府大阪市浪速区桜川4丁目4番26号

氏名

ニッタ株式会社